



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**Σχολή Γεωπονικών Επιστημών**

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**Αυτοματισμοί στις Αρδεύσεις, τις Γεωργικές Κατασκευές και**

**στην Εκμηχάνιση της Γεωργίας**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**

**«Εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης σε καλλιέργεια χορτοδοτικού φυτού»**

**Βασιλική Μπότα**

**Βόλος 2016**

Εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης σε καλλιέργεια χορτοδοτικού φυτού

Βασιλική Μπότα

1. **Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη Μαρία**, Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με γνωστικό αντικείμενο «Αρδεύσεις – Στραγγίσεις, Υδραυλική», Επιβλέπουσα της Μεταπτυχιακής Διατριβής.
2. **Δαναλάτος Νικόλαος**, Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με γνωστικό αντικείμενο «Γεωργία – Οικολογία Φυτών Μεγάλης Καλλιέργειας».
3. **Δημήρκου Ανθούλα**, Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με γνωστικό αντικείμενο «Εδαφολογία με έμφαση στη Χημεία Εδάφους».

*Στη μνήμη του παππού μου  
και του έργου του στην καλλιέργεια αραβόσιτου.*

## Πρόλογος

Σε αυτήν την προσπάθεια συγγραφής επιστημονικού περιεχομένου μελέτης στα πλαίσια των προϋποθέσεων λήψης του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμησή μου και να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια και Διευθύντρια του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κυρία Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, που υπήρξε Επιβλέπουσα Καθηγήτρια της Μεταπτυχιακής εργασίας μου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την ευκαιρία που μου έδωσε αναθέτοντάς μου αυτή την εργασία. Επίσης, την ευχαριστώ για τις υποδείξεις, τις διορθώσεις και όλη την καθοδήγηση όσον αφορά την οργάνωση του περιεχόμενου και την παρουσίαση αυτής της Μεταπτυχιακής Διατριβής.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κύριο Νικόλαο Δαναλάτο και την Καθηγήτρια και Διευθύντρια του Εργαστηρίου Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κυρία Ανθούλα Δημήρκου, μέλη της εξεταστικής επιτροπής για τις χρήσιμες συμβουλές και διορθώσεις τους.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον κύριο Χρήστο Παπανικολάου, Διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθειά του στην ορθή διεξαγωγή του πειράματος κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής του στον αγρό, καθώς επίσης και για την ουσιαστική συμβολή του στην επίλυση θεωρητικών και πειραματικών προβλημάτων που παρουσιάστηκαν σε όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης αυτής της Μεταπτυχιακής Διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την εταιρεία Syngenta για την ευγενική προσφορά της, καθώς μας διέθεσε αφιλοκερδώς την απαιτούμενη ποσότητα σπόρου μεγάλης καλλιέργειας για την διεξαγωγή του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου καθώς και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια που μου προσέφεραν σε αυτό το τελικό στάδιο εκπόνησης της Μεταπτυχιακής Διατριβής αλλά και σε όλα τα προηγούμενα χρόνια, που με την αγάπη και συμπαράστασή τους με βοήθησαν να εκπληρώσω τους στόχους μου.

## Περίληψη

Σε πείραμα αγρού που πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βελεστίνο) την καλλιεργητική περίοδο του 2014, διερευνήθηκε η επίδραση της εφαρμογής επιφανειακής ελλειμματικής στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και απόδοση καλλιέργειας αραβόσιτου (*Zea mays* L.) ποικιλίας NK Cisko. Αξιολογήθηκε η αποδοτικότητα και η εξοικονόμηση της χρήσης του αρδευτικού νερού δύο διαφορετικών μεθόδων άρδευσης, με κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό στο 100% και στο 70% της πραγματικής ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ETc). Οι μέθοδοι άρδευσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το απλό και το πλήρως αυτοματοποιημένο εξατμισόμετρο τύπου A. Τα πειραματικά τεμάχια οργανώθηκαν σε σχέδιο πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων (RCBD) που περιελάμβανε τρεις μεταχειρίσεις με τέσσερις επαναλήψεις για κάθε μία από αυτές. Οι μεταχειρίσεις ήταν οι εξής: α) επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος του εξατμισιμέτρου τύπου A στο 100% της πραγματικής ημερήσιας ETc (PAN100), β) επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος του εξατμισιμέτρου τύπου A στο 70% της πραγματικής ημερήσιας ETc (PAN70) και γ) επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος του αυτόματου εξατμισιμέτρου τύπου A στο 100% της πραγματικής ημερήσιας ETc (AUTO-PAN100).

Τα χαρακτηριστικά των φυτών που μετρήθηκαν ήταν το ύψος του βλαστού των φυτών, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.), η χλωρή και ξηρή βιομάζα του υπέργειου μέρους των φυτών και η απόδοση σε καρπό. Η παρακολούθηση αυτών των χαρακτηριστικών γινόταν με διαδοχικές μετρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας, ενώ ο προσδιορισμός της τελικής παραγωγής σε βιομάζα και καρπό έγινε με δειγματοληψία κατά την φυσιολογική ωρίμανση.

Τέλος, μετά από την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή πλήρους άρδευσης (PAN100 και AUTO-PAN100) δίνει τους μεγαλύτερους μέσους όρους στις μετρήσεις του ύψους του βλαστού, του L.A.I., της απόδοσης σε βιομάζα και καρπό. Η μεγαλύτερη όμως αποδοτικότητα χρήσης αρδευτικού νερού παρατηρείται στις μεταχειρίσεις όπου εφαρμόστηκε η επιφανειακή ελλειμματική στάγδην άρδευση ενώ παράλληλα επιτεύχθηκε και σημαντική εξοικονόμηση αρδευτικού νερού, που σε περιοχές με έντονο φαινόμενο λειψυδρίας η εφαρμογή της είναι επιτακτική και ελπιδοφόρα καθώς δεν επιφέρει σημαντικές μειώσεις στις αποδόσεις βιομάζας και καρπού. Επίσης, η μέθοδος άρδευσης του αυτόματου εξατμισιμέτρου (AUTO-PAN100) υπερέχει της μεθόδου άρδευσης του απλού

εξατμισμέτρου (PAN100 και PAN70) χωρίς ωστόσο στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Λέξεις κλειδιά: στάγδην άρδευση, ελλειμματική άρδευση, απλό και αυτόματο εξατμισόμετρο τύπου A, αποδοτικότητα χρήσης νερού, εξοικονόμηση νερού, ποσοτικά χαρακτηριστικά αραβοσίτου

## Summary

In the growing season of 2014, a field experiment was conducted at the farm of University of Thessaly in Velestino, in order to examine the effects of applying deficit irrigation under surface drip irrigation, on the development and the yield of maize (*Zea mays* L.) (NK Cisko variety). The water use efficiency (WUE) and the water savings of two different irrigation methods were evaluated, applying 100% and 70% amount of the actual daily evapotranspiration of the crop (ET<sub>c</sub>). The irrigation methods were the simple and the automated Evaporation Class A Pan. The experimental blocks were organized in a randomized complete block design where three treatments replicated four times. The treatments were: a) full irrigation using Class A Evaporation Pan applying 100% amount of the actual daily ET<sub>c</sub> (PAN100), b) deficit irrigation using Class A Evaporation Pan applying 70% amount of the actual daily ET<sub>c</sub> (PAN70) and c) full irrigation using automated Class A Evaporation Pan applying 100% amount of the actual daily ET<sub>c</sub> (AUTO-PAN100).

The height of the stem, the leaf area index (L.A.I.), the fresh and the dry total biomass of the stems and the grain yield were the characteristics of the plants that were measured. These characteristics were monitored by sequential measurements during the whole growing season, whereas the determinations of the final production of the fresh and the dry biomass as the grain yield were done at the end of the ripening.

Finally, after the analysis of the data, it was found that the application of full irrigation (PAN100 and AUTO-PAN100) gives the greatest average measurements in all the above characteristics. However, the greatest water use efficiency is observed in the treatments where was applied the deficit irrigation under surface drip irrigation while significant water saving was achieved at the same time. This implementation is urgent and promising in areas with phenomenon of water scarcity as do not lead to significant reductions in grain and biomass yield. Moreover, the irrigation method with the automated Evaporation Class A Pan (AUTO-PAN100) outclasses the other irrigation method (PAN100 and PAN70) but without statistically significant difference at the 95% confidence level.

**Keywords:** drip irrigation, deficit irrigation, simple and automated Class A Evaporation Pan, water use efficiency, water saving, quantitative characteristics of maize

## Πίνακας Περιεχομένων

	Σελ.
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1. Γενικά	1
1.2. Σκοπός πειράματος	2
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>3</b>
<b>Η καλλιέργεια του αραβόσιτου</b>	
1.1. Γενικά	3
1.2. Απαιτήσεις της καλλιέργειας αραβοσίτου	4
1.2.1. Έδαφος	4
1.2.2. Θερμοκρασία	5
1.2.3. Μήκος ημέρας	5
1.2.4. Λίπανση	5
1.2.5. Σπορά	6
1.2.6. Άρδευση	7
1.3. Συγκομιδή	8
1.4. Απόδοση	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>9</b>
<b>Υδατοκατανάλωση καλλιεργειών</b>	
2.1. Γενικά	9
2.2. Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με εξατμισόμετρο τύπου A	11
2.3. Η έννοια του φυτικού συντελεστή Kc	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	<b>16</b>
<b>Στάγδην άρδευση</b>	
3.1. Γενικά	16
3.2. Γενική σύνθεση συστήματος στάγδην άρδευσης	18
3.3. Ρύθμιση λειτουργίας του δικτύου	19
3.4. Βασικά χαρακτηριστικά στάγδην άρδευσης	19
3.4.1. Πλεονεκτήματα	20
3.4.2. Μειονεκτήματα	21
3.5. Διαδικασία επιλογής και σχεδιασμός του κατάλληλου συγκροτήματος	21
3.6. Συχνότητα άρδευσης	22
3.7. Δόσεις άρδευσης	23



3.8. Σχεδιασμός, λειτουργία και διαχείριση	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	<b>27</b>
<b>Ελλειμματική άρδευση</b>	
4.1. Γενικά	27
4.2. Καμπύλη Παραγωγικότητας Νερού	28
4.3. Προγραμματισμός ελλειμματικής άρδευσης	30
4.4. Πλεονεκτήματα και προϋποθέσεις εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης	32
4.5. Εφαρμογές της ελλειμματικής άρδευσης	34
4.6. Ελλειμματική άρδευση αραβόσιτου	36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	<b>41</b>
<b>Υλικά και Μέθοδοι</b>	
5.1. Γενικά	41
5.2. Τοποθεσία πειραματικού αγρού	41
5.3. Έδαφος του πειραματικού αγρού	43
5.3.1. Εδαφολογικά χαρακτηριστικά	43
5.4. Καλλιεργητικές εργασίες	46
5.4.1. Προετοιμασία του εδάφους	46
5.4.2. Σπορά της καλλιέργειας	46
5.4.2.1. Ποικιλία σπόρου αραβόσιτου	47
5.4.3. Πειραματικός σχεδιασμός	48
5.4.4. Εγκατάσταση καλλιέργειας και διάταξη πειραματικών τεμαχίων	49
5.4.5. Έλεγχος ζιζανίων	50
5.4.6. Λίπανση	50
5.5. Άρδευση	51
5.5.1. Επιφανειακή άρδευση με καταιονισμό	51
5.5.2. Επιφανειακή στάγδην άρδευση	52
5.5.2.1. Διάταξη του δικτύου άρδευσης για τη μέθοδο του απλού εξατμισιμέτρου	52
5.5.2.1.1. Αντλητικό συγκρότημα	52
5.5.2.1.2. Μονάδα ελέγχου	53
5.5.2.1.3. Δίκτυο μεταφοράς	55
5.5.2.1.4. Δίκτυο εφαρμογής	55
5.5.2.2. Διάταξη του δικτύου άρδευσης για τη μέθοδο του αυτόματου εξατμισιμέτρου	57
5.6. Συντήρηση συστημάτων άρδευσης	58
5.7. Μετρήσεις χαρακτηριστικών της καλλιέργειας	58
5.7.1. Μέτρηση του ύψους των φυτών	58

5.7.2. Μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας	59
5.7.2.1. Το σύστημα Sunscan Canopy Analysis	59
5.7.2.2. Η μέθοδος μέτρησης του LAI με το σύστημα SunScan Canopy Analysis	61
5.7.3. Μέτρηση της βιομάζας των φυτών	62
5.7.4. Απόδοση σε καρπό	63
5.7.5. Ποσότητα του νερού άρδευσης	64
5.7.6. Κλιματικά δεδομένα	64
5.7.7. Σύστημα άρδευσης με το απλό εξατμισίμετρο τύπου A	66
5.7.7.1. Χαρακτηριστικά απλού εξατμισιμέτρου τύπου A	66
5.7.7.2. Τοποθέτηση, Διατήρηση, Συντήρηση, Λήψη Μετρήσεων	68
5.7.8. Σύστημα άρδευσης με το αυτόματο εξατμισίμετρο τύπου A	69
5.8. Υπολογισμός δόσης άρδευσης	73
5.9. Υπολογισμός ωφέλιμης ή ενεργού βροχόπτωσης (Pe)	74
5.10. Υπολογισμός αποδοτικότητας εφαρμογής της άρδευσης με σταγόνες (EFF)	74
5.11. Υπολογισμός διάρκειας άρδευσης	75
5.12. Υπολογισμός εύρους άρδευσης	76
5.13. Αποδοτικότητα χρήσης νερού	77
5.14. Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων	79
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	<b>80</b>
<b>Αποτελέσματα και Συζήτηση</b>	
6.1. Γενικά	80
6.2. Κλιματικά δεδομένα	80
6.3. Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας	82
6.3.1. Φυτικοί Συντελεστές	82
6.3.2. Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας	83
6.4. Εφαρμοζόμενη ποσότητα και εξοικονόμηση αρδευτικού νερού	84
6.5. Ύψος φυτών	85
6.6. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας	87
6.7. Παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας	88
6.8. Παραγωγή σε καρπό	89
6.9. Αποδοτικότητα χρήσης νερού	90
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b>	<b>92</b>
<b>Ανακεφαλαίωση - Συμπεράσματα</b>	
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>94</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Γενικά

Ζωτικής σημασίας είναι η ύπαρξη νερού για κάθε φυτό, για διάφορους λόγους, ο κυριότερος εκ των οποίων είναι ότι το φυτό έχοντας την αναγκαία ποσότητα νερού δεν εισέρχεται σε κατάσταση υδατικής καταπόνησης. Στις μέρες μας, η έλλειψη του νερού που επηρεάζεται αφενός μεν από την υπερκατανάλωση, αφετέρου δε από τη ρύπανση, είναι ολοφάνερη με ανησυχητικά αυξανόμενη τάση. Οι μεσογειακές χώρες είναι ανάμεσα σε εκείνες που υποφέρουν περισσότερο από τις συνέπειες της και το πρόβλημα αναμένεται να οξυνθεί εξαιτίας των επιπτώσεων από την αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος. Τόσο η υπερκατανάλωση, όσο και η ρύπανση έχουν τις ρίζες τους στον τρόπο χρήσης-διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Η διατήρηση των υδατικών πόρων, κυρίως μέσω της εξοικονόμησης νερού, αποτελεί κεντρική προτεραιότητα για την εξασφάλιση επαρκούς ποσότητας και ποιότητας νερού για τις ανθρώπινες κοινωνίες και τα οικοσυστήματα.

Το μεγαλύτερο μέρος του διαθέσιμου νερού παγκοσμίως χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, καθώς οι ανάγκες για σίτιση αυξάνονται ολοένα και περισσότερο. Εξαιτίας της άρδευσης, μπορούν να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις με μικρότερο κόστος εισροών και μεγιστοποίηση του οικονομικού αποτελέσματος.

Στη χώρα μας το ποσοστό του νερού που διατίθεται για άρδευση κυμαίνεται γύρω στο 87% έναντι του 2-3% που διατίθεται για βιομηχανική και του 13% που διατίθεται για αστική χρήση αντίστοιχα. Για τον λόγο αυτό, έχει ιδιαίτερη βαρύτητα η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης που διαμορφώνει αυτό το επίπεδο ζήτησης με αποτέλεσμα την διερεύνηση δυνατοτήτων εξοικονόμησης νερού μέσα από κατάλληλες ενέργειες και επεμβάσεις. Ένα μεγάλο ποσοστό, μέχρι και 50% του μεταφερόμενου νερού, χάνεται λόγω της κακής κατάστασης των αρδευτικών δικτύων ή των ακατάλληλων τεχνικών. Την κατάσταση αυτή έρχεται να επιβαρύνει το γεγονός ότι πολλές άνυδρες καλλιέργειες έχουν αντικατασταθεί από υδροφόρες. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας υδροφόρας καλλιέργειας είναι και ο αραβόσιτος. Φυτό μεγάλης οικονομικής σημασίας σε πολλά μέρη του κόσμου.

Οι πρακτικές που χρησιμοποιούνταν μέχρι προσφάτως στην καλλιέργεια του αραβόσιτου και γενικότερα στον τομέα των αρδεύσεων διέπονται από αλόγιστη χρήση του αρδευτικού νερού κι αυτό εξαιτίας της έλλειψης σωστού προγραμματισμού που είναι απόρροια του μη ακριβούς προσδιορισμού των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας. Οι σημαντικότεροι παράμετροι που θα πρέπει να εκτιμούνται προκειμένου να υπολογίζονται οι υδατικές

απαιτήσεις ώστε να καταρτίζεται σωστά ένα πρόγραμμα άρδευσης είναι η δόση και ο χρόνος εφαρμογής της άρδευσης, ο οποίος καθορίζεται από την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας και τις βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, καθώς επίσης και η διάρκεια άρδευσης η οποία εξαρτάται από τη διηθητικότητα του εδάφους και την αρδευτική μέθοδο που εφαρμόζεται.

Η εφαρμογή στάγδην άρδευσης είναι μέθοδος άρδευσης, με την οποία το νερό εφαρμόζεται στο έδαφος σε μικρές ποσότητες υπό τη μορφή σταγόνων, έτσι ώστε το κάθε φυτό να εφοδιάζεται, χωριστά, με την απαραίτητη, για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση, ποσότητα νερού. Αποτελεί μια αυτοματοποιημένη εναλλακτική μέθοδο άρδευσης, η οποία έχει ως βασικό της στόχο, την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και την αειφόρο ανάπτυξη και σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους εφαρμογής του νερού, την μείωση των απωλειών κατά τη διανομή και χορήγηση του νερού στα φυτά με αύξηση της παραγωγής και την εξοικονόμηση νερού.

## **1.2. Σκοπός πειράματος**

Σκοπός του πειράματος ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της εφαρμογής επιφανειακής ελλειμματικής στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και απόδοση καλλιέργειας αραβοσίτου (*Zea mays L.*) και η αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της εξοικονόμησης της χρήσης του αρδευτικού νερού.

Οι κύριοι στόχοι και η συμβολή της εργασίας στην έρευνα ήταν:

- η εφαρμογή επιφανειακής στάγδην άρδευσης στον αγρό με τη χρήση απλού και αυτόματου εξατμισιμέτρου τύπου A και δόση άρδευσης ίση με το 100% της πραγματικής ημερήσιας ETc.
- η εφαρμογή επιφανειακής ελλειμματικής στάγδην άρδευσης με τη χρήση απλού εξατμισιμέτρου τύπου A και δόση άρδευσης ίση με το 70% της πραγματικής ημερήσιας ETc.
- η απόδειξη της εξοικονόμησης και της αποδοτικότητας χρήσης νερού άρδευσης στην καλλιέργεια αραβόσιτου με την εφαρμογή της μεθόδου επιφανειακής ελλειμματικής στάγδην άρδευσης στο 70% των αναγκών της πραγματικής ημερήσιας ETc.
- ο υπολογισμός των φυτικών συντελεστών για τον αραβόσιτο ποικιλίας NK Cisko.
- μέτρηση του ύψους, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, της ξηρής και χλωρής βιομάζας καθώς και της απόδοσης σε σπόρο της καλλιέργειας αραβοσίτου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### Η καλλιέργεια του αραβόσιτου

Ο αραβόσιτος είναι ένα ευρέως διαδεδομένο φυτό μεγάλης καλλιέργειας για τον χώρο της Ελληνικής γεωργίας. Παρακάτω δίδεται μια λεπτομερή περιγραφή του αραβόσιτου ως καλλιέργεια και μια εικόνα των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και των απαιτήσεων της φυτείας.

#### 1.1. Γενικά

Ο αραβόσιτος κατάγεται από το Μεξικό και την Κεντρική Αμερική. Αν και τροπικής καταγωγής, αντέχει σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες καθώς έχει εξημερωθεί σε μεγάλα υψόμετρα. Ο βιολογικός κύκλος του παρουσιάζει μεγάλη παραλλακτικότητα (2 έως 16 μήνες) και ανάλογα του βιολογικού του κύκλου καθορίζεται και η απόδοση. Γενικά η μέση στρεμματική του απόδοση κυμαίνεται από 300kg/στρ. έως 1800kg/στρ.. Καλλιεργείται κυρίως στις Η.Π.Α. στην Ευρώπη (Ιταλία, Γιουγκοσλαβία, Ουγγαρία) και την Ασία (Κίνα, Ινδία).

Στην Ελλάδα μεταφέρθηκε περί το 1600 μ.Χ. από τη Β. Αφρική (Αραβία) γι' αυτό και ονομάστηκε Αραβόσιτος (η σίτος των Αράβων). Στην Ελλάδα πρόκειται για το πιο σημαντικό εαρινό σιτηρό και καλλιεργείται κυρίως στη Μακεδονία, τη Θράκη, την Πελοπόννησο και τη Στερεά Ελλάδα. Μαζί με το σιτάρι και το βαμβάκι, καταλαμβάνουν περισσότερο από το 40% της ελληνικής αρόσιμης γης. Η καλλιεργούμενη έκταση το 2013 για την Ελλάδα ήταν 2132,6 στρέμματα με την απόδοσή του να αγγίζει τα 2275,2kg, σύμφωνα με την Ετήσια Γεωργική Στατιστική Έρευνα της ΕΛΣΤΑΤ. Η απόδοσή του συγκαταλέγεται ανάμεσα στις μεγαλύτερες της Ευρώπης, παρόλο που οι συνθήκες στην Ελλάδα δεν θεωρούνται πολύ ευνοϊκές για την καλλιέργειά του, κυρίως από άποψη βροχοπτώσεων, σε συνδυασμό με τις υψηλές απαιτήσεις του σε νερό. Χρησιμοποιείται ως επίσπορη αλλά και ως σανοδοτική καλλιέργεια (Γαλανοπούλου-Σενδούκα, 1998).

Το κυρίως ριζικό σύστημα εισχωρεί σε βάθος 75cm με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση στα επιφανειακά στρώματα, ενώ οι εμβρυακές ρίζες μπορεί να φθάσουν και σε βάθος 1,5m. Το στέλεχος είναι κάλαμος συμπαγής, κυλινδρικός, με ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 0,6m και 4m. Τα φύλλα είναι χωρίς ωτία, με πεπλατυσμένα ελάσματα που φέρουν ανεπτυγμένο κεντρικό νεύρο και δυσδιάκριτες κάθετες νευρώσεις.

Ο βασικός τύπος που χρησιμοποιείται είναι ο οδοντωτός. Είναι ο πλέον παραγωγικός και περισσότερο χρησιμοποιούμενος τύπος. Τύποι για άλλες χρήσεις είναι οι σκληρόκοκκος, ο γλυκός, ο μικρόκοκκος, ο αλευρώδης και ο κηρώδης.

## **1.2. Απαιτήσεις της καλλιέργειας αραβοσίτου**

### **1.2.1. Έδαφος**

Το ιδανικό έδαφος για την ανάπτυξη του φυτού είναι μέσης σύστασης, βαθύ με καλή στράγγιση αλλά και ικανοποιητική συγκράτηση υγρασίας ενώ καλό είναι να αποφεύγονται συνεκτικά εδάφη (μη ανάπτυξη ρίζας) (Καραμάνος, 1999). Οι Olson and Sander (1988) αναφέρουν ότι είναι απαραίτητο να υπάρχουν τουλάχιστον 60cm υποστρώματος με χώμα για την ανάπτυξης της ρίζας.

Οι Adeoye and Agboola (1985) αναφέρουν ότι το εύρος pH για ιδανικές αποδόσεις είναι 6-6,5 ενώ γενικότερα παρουσιάζεται ένα εύρος ανάπτυξης 5,6 -7,5 (Καραμάνος, 1999) ή 5,8 με 7 (Espinoza and Ross, undated) ενώ υπάρχουν και αναφορές που κάνουν λόγο για ακόμα μεγαλύτερο εύρος 5-8 (Belfield and Brown, 2008). Οι Steckel et al. (2003) αναφέρουν ότι ο συνδυασμός χαμηλής οργανικής ουσίας σε έδαφος με pH άνω του 7 διαμορφώνουν μη ικανοποιητική απόδοση σε σπόρο.

Το Ινστιτούτο Σιτηρών αναφέρει ότι όσο αυξάνεται η αλατότητα μειώνεται η απόδοση του φυτού. Αντίστοιχα έχουν προσδιορίσει την σχέση απόδοσης με το pH του εδάφους και παρατήρησαν ότι σε όξινο pH αναμένουμε μόλις το 35% των ιδανικών αποδόσεων ενώ ορίζεται ως άριστο pH το 6,8. Αντίστοιχη είναι η μελέτη του Heninger (2001). Έχουν αναπτυχθεί ωστόσο ποικιλίες που προσαρμόζονται ιδανικότερα σε συνθήκες υψηλής αλατότητας καθώς έχουν ιδιαίτερη ανθεκτικότητα (Faustino et al., 2000; Akram et al., 2010; Maiti et al., 2010). Γενικότερα, η αλατότητα επιδρά στο οσμωτικό φαινόμενο και έτσι οι Cicek και Çakirlar (2002) και οι Maiti et al. (2010) αναφέρουν ότι η αυξημένη αλατότητα έχει ως αποτέλεσμα στο φυτό μειωμένη φυλλική επιφάνεια, μειωμένο χλωρό και νωπό βάρος και μικρότερη επιμήκυνση του βλαστού και της ρίζας.

Τέλος, οι Wuana και Okieimen (2010) αναφέρουν ότι ο αραβόσιτος όχι μόνο έχει την δυνατότητα να προσαρμοστεί σε ρυπασμένα εδάφη αλλά και είναι εφαρμογή φυτοεξυγίανσης.

### 1.2.2. Θερμοκρασία

Η σπορά πρέπει να γίνεται όταν η θερμοκρασία εδάφους σταθεροποιηθεί στους 10°C (Απρίλιος) (Γαλανοπούλου-Σενδούκα, 1998). Η άριστη θερμοκρασία αναπτύξεως είναι περίπου 22°C ημέρας και όχι μικρότερη από 14°C νύχτας. Θερμοκρασίες 30-35°C μπορεί να προκαλέσουν ανωμαλίες στον μεταβολισμό του αζώτου (Σφήκας, 1991). Θερμοκρασίες υψηλότερες των 30°C κατά τη διάρκεια της ημέρας ασκούν ανασταλτική επίδραση στην αύξηση γιατί σχετίζονται με αυξημένες απώλειες νερού λόγω εξατμισοδιαπνοής (Καραμάνος, 1992).

Συγκεντρωτικές έρευνες των Coelho και Dale (1980) παρουσιάζουν την σχέση θερμοκρασιών και ρυθμού ανάπτυξης του καλαμποκιού και βρίσκουν ότι το μέγιστο της ανάπτυξης επέρχεται ανάμεσα στους 25-33°C. Οι Ramadoss et al. (2004) αναφέρουν ότι θερμοκρασίες άνω των 38°C επιφέρουν αρνητικά στην τελική απόδοση σπόρου. Οι Hardacre και Turnbull (1986) αναφέρουν ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας παρουσιάζεται πρωιμότητα συγκομιδής στον αραβόσιτο.

### 1.2.3. Μήκος ημέρας

Γενικότερα το φυτό λόγω της καταγωγής του είναι βραχείας ημέρας (Καραμάνος, 1999). Οι Birch et al. (1997) αναφέρουν ότι φωτοπερίοδος άνω των 12,5 ωρών επιφέρει μεγαλύτερη διάρκεια ανθοφορίας και περισσότερη φυλλική επιφάνεια σε φυτά καλαμποκιού κάτι το οποίο απέδειξαν και σε πειράματα τους οι Bonhomme et al. (1991). Γενικότερα, η επίδραση μεγάλης ημέρας επιφέρει παρατεταμένη βλαστική περίοδο, όσιμη και μειωμένη απόδοση σε σπόρο εν τέλει. Από την άλλη μεγάλες φωτοπερίοδοι επιφέρουν υψηλό ξηρό βάρος βιομάζας σύμφωνα με τους Hunter et al. (1977) και έτσι η διαχείριση του φωτός ή επιλογή της ποικιλίας πρέπει να είναι ανάλογη της τελικής κατεύθυνσης της παραγωγής (σποροπαραγωγή ή βιομάζα).

### 1.2.4. Λίπανση

Λόγω της υψηλής παραγωγικότητάς του σε βιομάζα και καρπό, ο αραβόσιτος απορροφά μεγάλες ποσότητες ανόργανων θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος το οποίο εξαντλεί. Κατά συνέπεια, η διατήρηση της παραγωγικότητας της καλλιέργειας σε υψηλά επίπεδα προϋποθέτει τον επαρκή εφοδιασμό του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία.

Έχει μεγάλες ανάγκες σε N, P, K, Ca, Mg και S. Ακόμη, διάφορα άλλα ιχνοστοιχεία είναι αναγκαία. Επίσης αντιδρά έντονα στη λίπανση με κόπρο.

Από πειράματα του Ινστιτούτου Σιτηρών έχει προκύψει ότι για την παραγωγή 1000 κιλών ανά στρέμμα καρπού, απαιτούνται ανά στρέμμα: 19,4kg N, 2,7kg P, 13,8kg K, 1,4kg Mg, 2,7kg Ca και μικροποσότητες ιχνοστοιχείων.

**Πίνακας1.3.** Συνολική ποσότητα πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων για παραγωγή 1000 κιλών καρπού αραβόσιτου ανά στρέμμα.

Θρεπτικό στοιχείο	Ποσότητα πρόσληψης
<i>Κύρια στοιχεία</i>	
Αζωτο (N)	18-20 kg
Φώσφορος (P)	3,0-3,5 kg
Κάλιο (K)	15-18kg
<i>Δευτερεύοντα στοιχεία</i>	
Ασβέστιο (Ca)	2,6-2,7 kg
Μαγνήσιο (Mg)	1,4-1,5 kg
Μαγγάνιο (Mn)	30-35 gr
Ψευδάργυρος (Zn)	30-35 gr
Σίδηρος (Fe)	110-130 gr
Βόριο (B)	15-20 gr
Χαλκός (Cu)	5-7 gr

Σήμερα, τα νέα απλά υβρίδια μπορούν να δώσουν αποδόσεις από 1500 έως 2000kg/στρ.. Γι' αυτό το λόγο απαιτούν μεγαλύτερα ποσά λιπάσματος και νερού, με το ποσοστό αξιοποίησής να είναι σημαντικά ανώτερο. Έτσι, ο δείκτης συγκομιδής στα σημερινά υβρίδια ανέβηκε στο 45-60%.

Κατά τη σπορά ή λίγο πριν, προστίθενται σε όλο τον αγρό ή σε γραμμές (για οικονομία λιπάσματος) το σύνολο του φωσφόρου και του καλίου και περίπου το 50% της συνολικής ποσότητας του αζώτου σε αμμωνιακή μορφή.

#### 1.2.5. Σπορά

Για την παραγωγή σπόρου αν οι εδαφοκλιματικές συνθήκες είναι ιδανικές προτείνονται 7000 με 8000 φυτά ανά στρέμμα ενώ όταν το τελικό προϊόν προβλέπεται για ενσίρωμα προτείνονται 500 με 750 φυτά επιπλέον (Iowa State University, 2001). Άλλες αναφορές κάνουν λόγο για πυκνότητα φυτών 6250 με 7500 φυτά ανά στρέμμα (Hannaway και Larson, 2004). Σε



πειράματα δοκιμών οι Gökmen et al. (2001) αναφέρουν ότι η δόση σποράς όπου προκύπτουν 7000 φυτά ανά στρέμμα είναι ιδανική καθώς προκύπτει η μεγαλύτερη απόδοση σε σπόρο. Οι Elmore και Abendroth (2008) προσθέτουν ότι οι μέγιστες παραγωγές επέρχονται με πυκνότητα σποράς 9000 σπόρων ανά στρέμμα. Για αρδευόμενες εκτάσεις σύμφωνα με τον Lee (2009) προτείνονται 8000-8500 σπόροι ανά στρέμμα ενώ για μη αρδευόμενες συνθήκες ως 7500 σπόρους ανά στρέμμα το πολύ ενώ παρόμοιες είναι και οι πυκνότητες που αναφέρει ο Johnson (2011) ο οποίος αναφέρει ότι η δόση σποράς πρέπει να μεταβάλλεται ανάλογα και με την υφή του εδάφους. Επίσης ο Allen (2012) αναφέρει ότι για παραγωγή βιομάζας πρέπει να επιδιώκονται ακόμα μικρότερες πυκνότητες σποράς για την ικανοποιητική απόδοση σε βιομάζα. Τέλος η δόση σε κιλά σπόρου είναι περίπου 900 με 1100g/στρ. (FAO, 2005).

Ο Onyango (2009) μελέτησε αποστάσεις φύτευσης και παρατήρησε ότι όσο μίκρυναν οι αποστάσεις αυξανόντουσαν οι αποδόσεις σε σπόρο (εύρος 50-70cm) ενώ όμοια σε αποστάσεις 40cm οι Turgut et al. (2005) βρήκαν μεγαλύτερες αποδόσεις σε βιομάζα. Ο Brandley (2005) παρουσιάζει πλήθος αναφορών όπου τονίζεται ότι η πυκνή φύτευση καλαμποκιού (κάτω των 75cm) επιφέρει μεγαλύτερες αποδόσεις και μειωμένο ανταγωνισμό ζιζανίων.

#### **1.2.6. Άρδευση**

Σε κάθε περίπτωση η επίδραση της άρδευσης είναι σημαντική και απαραίτητη για τον καθορισμό των αποδόσεων στον αραβόσιτο (Nagy, 2003), ενώ αναφέρονται ακόμη και τριπλάσιες αποδόσεις με την εφαρμογή άρδευσης σε σχέση με ξηρική καλλιέργεια (Larson et al., 2001). Οι απαιτήσεις του αραβόσιτου σε νερό κυμαίνονται από 500-900mm (Howell et al., 1996). Η συχνότητα άρδευσης επηρεάζει την απόδοση σπόρου του καλαμποκιού σύμφωνα με τους Kara και Biber (2008), ενώ οι Filintas et al. (2008) προτείνουν άρδευση κάθε 9 ημέρες. Ιδιαίτερα στο στάδιο της άνθησης και έπειτα από αυτό είναι απαραίτητο συνεπές πρόγραμμα άρδευσης (Quintana και Diaz, 1971, Kranz et al., 2008; Evans et al., 1996). Ακόμα, ίσως να επιδιώκεται εφαρμογή μεταβλητών δόσεων άρδευσης ανάλογα με τις ανάγκες του φυτού ανά περίοδο σε σχέση με σταθερό πρόγραμμα άρδευσης καθ' όλη την διάρκεια της καλλιέργειας (σε περιπτώσεις επάρκειας υδάτινων πόρων) (Sexton et al., 1996). Ακόμα, οι ανάγκες σε άρδευση εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό και από την φυτοκάλυψη που παρουσιάζεται από την καλλιέργεια καθώς σε μεγάλη πυκνότητα φυτών παρουσιάζεται μεγάλη φυλλική επιφάνεια άρα μεγάλος ρυθμός εξατμισοδιαπνοής άρα αρκετές ανάγκες για άρδευση στον αραβόσιτο (Shaw, 1988). Έτσι, προτείνεται και ρύθμιση των πληθυσμών των φυτών ανάλογα με τα αποθέματα σε υδάτινους πόρους. Ωστόσο, σύμφωνα με τον Olson (1971) δεν παρατηρούνται σημαντικές

διαφορές στην χρήση νερού είτε εγκατασταθεί πυκνότητα φυτών 3500 ανά στρέμμα, 4500 ανά στρέμμα και 7000 ανά στρέμμα.

Η αποδοτικότητα χρήσης νερού μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την δόση άρδευσης που εφαρμόζεται. Σε περιοχές με περιορισμένους υδάτινους πόρους οι Lyle και Bordovsky (1995) προτείνουν πρόγραμμα άρδευσης με συχνές εφαρμογές (ανά 3 ημέρες) και ως είναι η συνολική άρδευση λιγότερη των αναγκών που απαιτούν τα φυτά (στο 80% αναγκών). Επίσης, οι Al-Kaisi και Yin (2003) παρατηρούν ότι δόση εφαρμογής στο 80% της εξατμισοδιαπνοής είναι ικανή να επιφέρει ιδιαίτερα ικανοποιητικές αποδόσεις.

Γενικά, για την εφαρμογή των αρδεύσεων θα πρέπει να αποφεύγουμε την τεχνητή βροχή γιατί επιδρά αρνητικά στην επικοινωνία που έχει σαν επακόλουθο την πτώση της απόδοσης του αραβόσιτου (Ασημιάδης, 1982).

Ο αραβόσιτος χρησιμοποιεί 32 χιλιογραμμάρια νερού για την παραγωγή ενός χιλιογραμμαρίου ξηρής ουσίας των υπέργειων μερών (Δαλιάνης, 1999).

### **1.3. Συγκομιδή**

Η συγκομιδή του αραβόσιτου πραγματοποιείται όταν η υγρασία του σπόρου κυμαίνεται από 20 ως 30% (Καραμάνος, 1999). Οι Olson και Sanders (1988) αναφέρουν ως ιδανική στιγμή συγκομιδής όταν ο σπόρος έχει φτάσει στο 25% υγρασίας. Γενικότερα, όταν η συγκομιδή πραγματοποιείται νωρίτερα τότε προκύπτει επιπλέον κόστος ξήρανσης ενώ όταν η συγκομιδή γίνεται αργότερα του αναμενόμενου παρατηρούνται μεγάλες απώλειες συγκομιδής.

Όταν η υγρασία του φυτού είναι 33-35% τότε το φυτό είναι έτοιμο για συγκομιδή ενσιρώματος (Corn Agronomy, 2006).

### **1.4. Απόδοση**

Η απόδοση στον αραβόσιτο πρωταρχικά καθορίζεται από το βάρος του σπάδικα και τον αριθμό των κόκκων. Το βάρος του καρπού επηρεάζεται από τον ρυθμό και τη διάρκεια της περιόδου γεμίσματος του κόκκου (Wood et al., 1999). Τις τελευταίες δεκαετίες η αύξηση στην απόδοση του αραβόσιτου έχει επιτευχθεί κυρίως μέσω επιμήκυνσης της περιόδου γεμίσματος του κόκκου και αύξησης της πυκνότητας του πληθυσμού (Guilin et al, 1999).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Υδατοκατανάλωση καλλιεργειών

#### 2.1. Γενικά

Στην αναπτυγμένη γεωργία, οι απώλειες της παραγωγής λόγω μη σωστής θρέψης ή φυτουγείας έχουν μειωθεί σημαντικά, ενώ αυτές που έχουν σχέση με την διαθεσιμότητα του νερού άρδευσης συνεχίζουν να είναι μεγαλύτερες από τις απώλειες που προκαλούνται από όλες τις άλλες αιτίες συνολικά. Γι' αυτό τα τελευταία χρόνια γίνονται σημαντικές προσπάθειες προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα του νερού άρδευσης μέσω καλύτερης διαχείρισης. Μέχρι σήμερα, παρότι εξελιγμένα αρδευτικά συστήματα υιοθετούνται από τους καλλιεργητές, η άρδευση στον αγρό πραγματοποιείται στο μεγαλύτερο ποσοστό εμπειρικά. Έτσι γίνεται είτε με βάση οπτικές παρατηρήσεις του εδάφους και των καλλιεργειών είτε με βάση γενικές γνώσεις για τις ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό ανά στάδιο ανάπτυξης. Στη σύγχρονη γεωργία όμως, από τη στιγμή που το νερό αντιμετωπίζεται σαν οικονομικό αγαθό, το κόστος χρήσης του στο άμεσο μέλλον θα αυξηθεί και η παραπάνω τακτική δεν μπορεί να είναι βιώσιμη. Για να μπορέσουμε να ξεφύγουμε από την εμπειρική άρδευση, ώστε να γίνει η όσον το δυνατόν ορθολογικότερη χρήση του νερού για άρδευση, πρέπει να μπορούμε στην λογική του επιστημονικού και ακριβή υπολογισμού των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό. Έτσι πρέπει να γίνουν υπολογισμοί και τα αποτελέσματά τους να εφαρμοσθούν στην πράξη.

Αντικειμενικός σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για την κανονική ανάπτυξη και μεγιστοποίηση της απόδοσής τους σε συνδυασμό με υψηλή ποιότητα των παραγομένων προϊόντων. Ένα σε ανάπτυξη φυτό παίρνει με τις ρίζες του το νερό μαζί με τα διαλυμένα σ' αυτό θρεπτικά στοιχεία που, μετά μια διαδρομή μέσα από τους φυτικούς ιστούς, καταλήγει στα φύλλα. Από εκεί, όταν τα στόματα των φύλλων είναι ανοικτά, το νερό κινείται παραπέρα με τη μορφή υδρατμών προς την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα. Νερό επίσης χάνεται από το χωράφι με τη διαδικασία της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους, όταν αυτή είναι υγρή. Το νερό που απομακρύνεται από το χωράφι με τις διαδικασίες αυτές αποτελεί την εξατμισοδιαπνοή. Το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας και των συνθηκών που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το φύλλωμά της.

Τα είδη των φυτών που απαρτίζουν τις διάφορες καλλιέργειες διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά τη βλαστική τους περίοδο, το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος, την πυκνότητα, την έκταση και την ανακλαστικότητα του φυλλώματος και τον τρόπο που καλλιεργούνται. Οι διαφορές αυτές συνεπάγονται αντίστοιχες διαφοροποιήσεις της εξατμισοδιαπνοής από καλλιέργεια σε καλλιέργεια.

Γενικά, η εξατμισοδιαπνοή είναι ένα φαινόμενο εξάτμισης που γίνεται κάτω από κάποιες ειδικές συνθήκες. Για να υπάρξει εξάτμιση χρειάζεται ενέργεια και, συγκεκριμένα, για την εξάτμιση ενός γραμμαρίου νερού χρειάζεται ενέργεια ίση περίπου με 590 cal. Στη φύση η πηγή που προμηθεύει την ενέργεια αυτή στις καλλιέργειες είναι ο ήλιος. Όταν οι υδρατμοί εγκαταλείψουν την καλλιέργεια γίνονται μέρος της ατμόσφαιρας και υπόκεινται σε όλες τις διαδικασίες ανάμιξης που αποσκοπούν στην ομογενοποίηση σε ότι αφορά την πυκνότητα, τη σύνθεση και τη θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το φύλλωμα. Το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση της κινητικότητας των υδρατμών που, κατά κύριο λόγο, διαμορφώνεται από την ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Τα παραπάνω δείχνουν ότι η εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας διαμορφώνεται: α) από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φύλλωμά της και β) από κλιματικούς παράγοντες, κυριότεροι από τους οποίους είναι η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Κάθε σχέση υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, για να είναι αξιόπιστη, πρέπει να βασίζεται στην ποσοτική εκτίμηση των παραμέτρων που έχουν σχέση με την καλλιέργεια και το κλίμα.

Το νερό που χρειάζεται για την κανονική ανάπτυξη και βέλτιστη απόδοση μιας καλλιέργειας εκφράζεται με τον όρο ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας και αντιπροσωπεύεται από την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας ( $ET_c$ ), είναι δε η εξατμισοδιαπνοή αυτή το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια που είναι ελεύθερη από κάθε είδους φυτικές ασθένειες, αναπτύσσεται σε μεγάλα χωράφια, χωρίς περιορισμούς στη διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών στοιχείων και επιτυγχάνει το μέγιστο της απόδοσης κάτω από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται. Κατά τον ορισμό αυτό, η  $ET_c$  είναι ισοδύναμη με τη μέγιστη εξατμισοδιαπνοή ( $ET_{max}$ ). Το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες ενός χωραφιού (πλήρης ή μερική διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας, προσβολή ή όχι από ασθένειες, γονιμότητα του χωραφιού κ.ά.) αναφέρεται σαν πραγματική εξατμισοδιαπνοή ( $ET_a$ ) της οποίας, σύμφωνα με τα παραπάνω, το άνω όριο της είναι η  $ET_{max}$ .

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν, εξαρτάται από το κλίμα και τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Η επίδραση του κλίματος στην  $ET_c$  εκφράζεται από

την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ή βασική εξατμισοδιαπνοή (ET<sub>r</sub> ή ET<sub>o</sub>), η οποία ορίζεται σαν η εξατμισοδιαπνοή από μια καλλιέργεια «αναφοράς ή βάσης» που αναπτύσσεται δυναμικά κάτω από συνθήκες πλήρους επάρκειας νερού. Σαν καλλιέργεια βάσης συνήθως θεωρείται ένας εκτεταμένος χορτοτάπητας που σκιάζει πλήρως το έδαφος και έχει ομοιόμορφο ύψος από 8 μέχρι 15 cm. Άλλοι θεωρούν σαν καλλιέργεια βάσης τη μηδική. Ακόμη, σαν τέτοια μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μια «ιδεατή» καλλιέργεια με «επιθυμητά» χαρακτηριστικά. Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς θεωρείται ότι διαμορφώνεται από τους κλιματικούς και μόνο παράγοντες μιας περιοχής. Η εξατμισοδιαπνοή κάθε άλλης καλλιέργειας διαφέρει από τη βασική εξατμισοδιαπνοή σαν συνέπεια των διαφορών που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά της, μορφολογικά και φυσιολογικά, από αυτά της καλλιέργειας βάσης.

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον αριθμό και το είδος των κλιματικών παραμέτρων που χρησιμοποιούν και τον τρόπο διασύνδεσής τους. Μια από τις μεθόδους αυτές είναι και το εξατμισόμετρο τύπου A (Class A Evaporation Pan).

## 2.2. Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με εξατμισόμετρο τύπου A

Η σχέση που δίνει την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET<sub>o</sub>) σε mm ανά ημέρα, στη μέθοδο του εξατμισιμέτρου τύπου A είναι:

$$ET_o = K_{pan} \cdot E_{pan} \quad [2.1]$$

όπου E<sub>pan</sub> η ημερήσια πτώση της στάθμης του νερού στο εξατμισόμετρο τύπου A (σε mm/day) και K<sub>pan</sub> ο συντελεστής διόρθωσης του εξατμισιμέτρου.

Ο συντελεστής διόρθωσης K<sub>pan</sub> είναι αδιάστατος και η τιμή του υπολογίζεται σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου, την μέση σχετική υγρασία και την θέση του εξατμισιμέτρου (απόσταση από χέρσα έκταση ή έκταση με φυτοκάλυψη).

## 2.3. Η έννοια του φυτικού συντελεστή K<sub>c</sub>

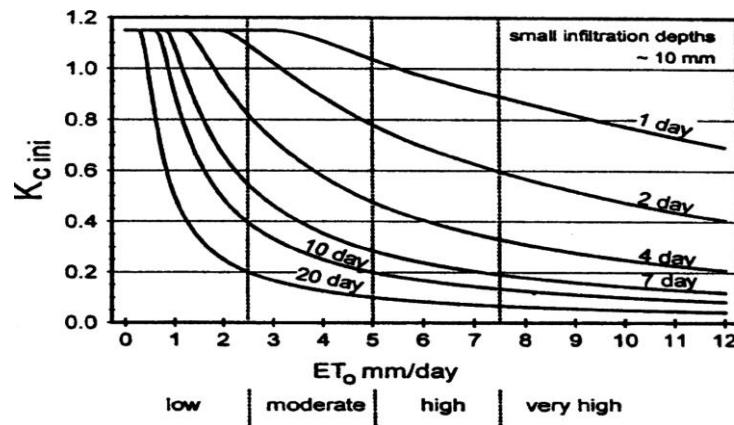
Η βασική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύει την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς. Οι φυτικοί συντελεστές αντιπροσωπεύουν τη διαφοροποίηση της εξατμισοδιαπνοής μιας οποιασδήποτε άλλης καλλιέργειας από αυτή της καλλιέργειας αναφοράς (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997) και εκφράζονται από τη σχέση

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad [2.2]$$

όπου  $K_c$  είναι ο αδιάστατος φυτικός συντελεστής μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας που βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες εδαφικής υγρασίας,  $ET_c$  είναι η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας και  $ET_0$  είναι η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Παπαζαφειρίου, 1999). Οι φυτικοί συντελεστές διαφέρουν από καλλιέργεια σε καλλιέργεια, αλλά και για την ίδια καλλιέργεια παρουσιάζουν διακύμανση κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Οι τιμές τους διαμορφώνονται ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε καλλιέργειας, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που αναπτύσσεται, την καλλιεργητική πρακτική και τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Για τις ετήσιες καλλιέργειες, επιπρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν το  $K_c$  είναι ο χρόνος σποράς ή φύτευσης, ο ρυθμός ανάπτυξης και η συχνότητα των βροχών και αρδεύσεων κατά το αρχικό στάδιο της ανάπτυξής τους. Στις πολυετείς χορτοδοτικές καλλιέργειες το  $K_c$  επηρεάζεται από τον αριθμό των κοπών. Λόγω των διαφοροποιήσεων αυτών η διερεύνηση των φυτικών συντελεστών γίνεται κατά κατηγορίες καλλιεργειών (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Για τη διευκόλυνση του προσδιορισμού των τιμών των συντελεστών αυτών, η βλαστική περίοδος κάθε καλλιέργειας χωρίζεται σε τέσσερα κύρια στάδια ανάπτυξης. Τα στάδια αυτά είναι:

Στάδιο 1ο: Αρχικό στάδιο ή στάδιο εγκατάστασης ( $K_{c\text{ ini}}$ ). Το στάδιο αυτό αρχίζει με τη σπορά ή φύτευση και φτάνει μέχρι την οριστική εγκατάσταση της καλλιέργειας. Κατά το στάδιο αυτό το ποσοστό κάλυψης του εδάφους είναι από μηδενικό μέχρι το πολύ ίσο με 10%, οπότε η  $ET_c$  κυριαρχείται από την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους, λόγω του πολύ μικρού ποσοστού φυτοκάλυψης, το μέγεθος της οποίας διαμορφώνεται από την υγρότητα της επιφάνειας, η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα των βροχών ή/και των αρδεύσεων. Η τιμή του φυτικού συντελεστή κατά το αρχικό στάδιο θεωρείται σταθερή και υπολογίζεται από ένα διάγραμμα που έδωσαν οι Doorenbos και Pruitt (1977) σαν συνάρτηση της συχνότητας των βροχών ή και των αρδεύσεων και της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής. Το διάγραμμα αυτό δίνεται στο Διάγραμμα 2.1.



**Διάγραμμα 2.1.** Υπολογισμός του φυτικού συντελεστή κατά FAO-24 του αρχικού σταδίου σε συνάρτηση με τη συχνότητα των βροχών ή/και των αρδεύσεων και της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς.

Στάδιο 2ο: Στάδιο ταχείας ανάπτυξης ή στάδιο κύριας βλάστησης ( $K_{c\ dev}$ ). Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από την έντονη ανάπτυξη των φυτών, αρχίζει μετά το τέλος του προηγούμενου σταδίου και τελειώνει με την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια. Το έδαφος θεωρείται πλήρως καλυμμένο όταν το ποσοστό φυτοκάλυψης είναι περίπου 70%. Η σταδιακή αύξηση του ποσοστού κάλυψης συνεπάγεται μια συνεχή μεταβολή του φυτικού συντελεστή, που αρχίζει από μια ελάχιστη τιμή που είναι ίση με αυτή του αρχικού σταδίου και φτάνει μέχρι μια μέγιστη τιμή, όταν το φύλλωμα καλύψει πλήρως την επιφάνεια του χωραφιού, η οποία είναι ίση με τον φυτικό συντελεστή του επόμενου σταδίου. Η μεταβολή του  $K_c$  κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού θεωρείται γραμμική και μπορεί να υπολογιστεί για οποιοδήποτε χρόνο σαν συνάρτηση των τιμών των  $K_c$  του προηγούμενου και του επόμενου σταδίου.

Στάδιο 3ο: Στάδιο μέσης περιόδου ή στάδιο διαμόρφωσης της παραγωγής ( $K_{c\ mid}$ ). Κατά το στάδιο αυτό η κάλυψη του εδάφους από τα φυτά είναι πλήρης και περιλαμβάνει την περίοδο ανθοφορίας και σχηματισμού των καρπών. Λόγω της πλήρους φυτοκάλυψης, η τιμή του  $K_c$  παραμένει σταθερή για όλη την περίοδο και διαμορφώνεται στο υψηλότερο επίπεδο όλης της βλαστικής περιόδου. Προσδιορίζεται πειραματικά για κάθε καλλιέργεια και τόπο, αφού στη διαμόρφωσή της ασκούν σημαντική επίδραση οι επικρατούσες κλιματικές συνθήκες.

Στάδιο 4ο: Τελικό στάδιο ή στάδιο ωρίμανσης ( $K_{c\ end}$ ). Κατά το στάδιο αυτό συντελείται η ωρίμανση των καρπών και τερματίζεται με τη συγκομιδή. Το στάδιο αυτό έχει ορισμένες ιδιαιτερότητες, αφού η ποιότητα και ποσότητα των συγκομιζόμενων προϊόντων έχει άμεση σχέση με το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας και τις φυσιολογικές διαφοροποιήσεις των φυτών που γίνονται κατά τη διάρκειά του. Λογικά, η τιμή του  $K_c$  του σταδίου αυτού πρέπει να μειώνεται όσο προχωρούμε προς το χρόνο συγκομιδής. Η τιμή του  $K_c$  σε οποιοδήποτε χρόνο μπορεί να βρεθεί από την τιμή του  $K_c$  του σταδίου μέσης περιόδου και αυτής κατά τη συγκομιδή, η οποία προσδιορίζεται πειραματικά.

Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου και των επί μέρους σταδίων ανάπτυξης διαφέρει από καλλιέργεια σε καλλιέργεια και επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε τόπο. Για το λόγο αυτό, πρώτο μέλημα στη διαδικασία προσδιορισμού των φυτικών συντελεστών είναι ο καθορισμός της βλαστικής περιόδου και των επί μέρους σταδίων ανάπτυξης για κάθε εδαφικό διαμέρισμα (Παπαζαφειρίου, 1999). Για την καλλιέργεια της ποικιλίας αραβοσίτου που χρησιμοποιήθηκε τα στάδια ανάπτυξης ήταν 15/25/45/15 (100) (Παπαζαφειρίου, 1999).

Γνωρίζοντας τις τιμές του  $K_c$  κατά τη διάρκεια του αρχικού, του σταδίου ταχείας ανάπτυξης και του τελικού σταδίου ( $K_{c\text{ ini}}=0,3$ ,  $K_{c\text{ mid}}=1,15$  και  $K_{c\text{ end}}=0,6$  αντίστοιχα) μπορούν να υπολογιστούν με την βοήθεια του παρακάτω Πίνακα 2.1 και οι τιμές του  $K_c$  και των υπολοίπων σταδίων (Allen et al., 1998).

**Πίνακας 2.1.** Υπολογισμός φυτικών συντελεστών στα διάφορα στάδια ανάπτυξης.

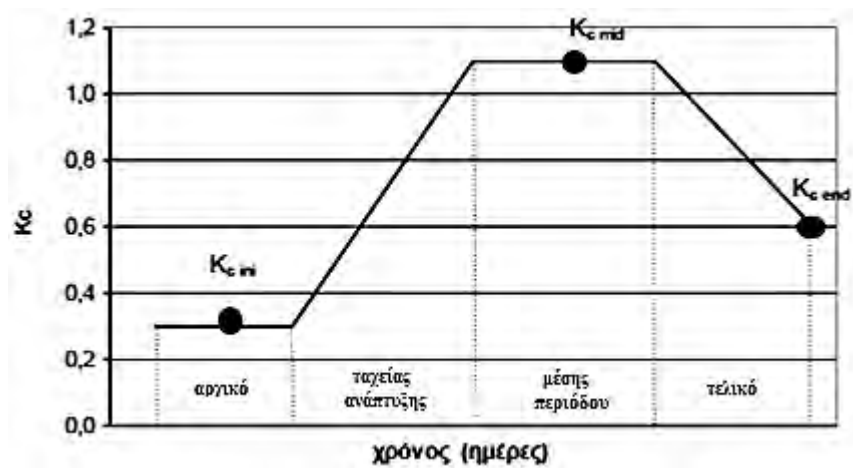
Στάδιο	Διάρκεια Σταδίου	Φυτικός Συντελεστής ( $K_c$ )	
		$i$ = ημέρα του βιολογικού κύκλου του φυτού	Στο μέσον των σταδίων 2 και 4
Στάδιο 1	$T_1$	$K_{c\text{ ini}}$	
Στάδιο 2	$T_2$	$K_{c2(i)} = K_{c\text{ ini}} + \frac{K_{c\text{ mid}} - K_{c\text{ ini}}}{T_2} \cdot (T_i - T_1)$	$K_{c2(T2/2)} = \frac{K_{c\text{ mid}} + K_{c\text{ ini}}}{2}$
Στάδιο 3	$T_3$	$K_{c\text{ mid}}$	
Στάδιο 4	$T_4$	$K_{c4(i)} = K_{c\text{ mid}} - \frac{K_{c\text{ mid}} - K_{c\text{ end}}}{T_4} \cdot (T_i - T_1 - T_2 - T_3)$	$K_{c4(T4/2)} = \frac{K_{c\text{ mid}} + K_{c\text{ end}}}{2}$
		$K_{c\text{ end}}$	

όπου  $i$ : είναι μια ημέρα της καλλιεργητικής περιόδου

$T_{1,2,3,4}$ : είναι η διάρκεια του σταδίου σε ημέρες που βρίσκεται η καλλιέργεια

Μετά το πέρας της διαδικασίας προσδιορισμού των τιμών του  $K_c$  για όλη τη βλαστική περίοδο, συντάσσονται διαγράμματα που αναφέρονται σαν διαγράμματα  $K_c$  καλλιέργειας. Ένα τέτοιο διάγραμμα δίνεται στο Διάγραμμα 2.2.





Διάγραμμα 2.2. Γραφική παράσταση του  $K_c$  κατά την καλλιεργητική περίοδο (Παπαζαφειρίου, 1999).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Στάγδην άρδευση

#### 3.1. Γενικά

Αποτέλεσμα των κατά καιρούς προσπαθειών, για επίτευξη μικρότερου κόστους και μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας κατά την εφαρμογή του νερού στις αρδεύσεις, υπήρξε η ανάπτυξη και εφαρμογή πολλών και ποικίλων μεθόδων άρδευσης.

Άρδευση ονομάζεται η παροχή νερού στις καλλιέργειες, με τεχνητά μέσα, συμπληρωματικά προς τις βροχοπτώσεις, για την κάλυψη των αναγκών των φυτών (Στρουθόπουλος, 1995).

Γενικά, οι μέθοδοι αυτές μπορούν να ταξινομηθούν κατά διάφορους τρόπους ανάλογα με τα κριτήρια ή χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη, σε κάθε περίπτωση, για την ταξινόμηση.

Έτσι, ανάλογα με το αν η διαβροχή της επιφάνειας του εδάφους είναι ολική ή μερική, διακρίνονται σε μεθόδους ολικής ή τοπικής άρδευσης.

Ανάλογα με τη θέση χορήγησης του νερού σε σχέση προς την επιφάνεια του εδάφους διακρίνονται σε μεθόδους υπόγειας, υπο-επιφανειακής και επιφανειακής άρδευσης. Σημειώνεται ότι η υπόγεια, διαφέρει από την υπο-επιφανειακή, στο ότι μ' αυτήν το νερό χορηγείται σε βαθύτερα στρώματα και ανεβαίνει μετά μέχρι το ριζόστρωμα με τριχοειδή κίνηση, ενώ με την υπο-επιφανειακή, το νερό χορηγείται λίγο κάτω από την επιφάνεια, κατευθείαν μέσα στη ζώνη του ριζοστρώματος.

Ανάλογα με το είδος της ροής, κατά τη διανομή του νερού μέσα στην καλλιέργεια, έχουμε μεθόδους ελεύθερης ροής και μεθόδους ροής υπό πίεση.

Τέλος, ανάλογα με τον τρόπο διανομής του νερού στα φυτά, έχουμε διάφορες μεθόδους, όπως κατάκλυση, αυλάκια, πορώδεις σωλήνες, μικροεκτοξευτήρες, στάγδην κ.λπ..

Το σύνολο των μεθόδων, που υπάγονται στην κατηγορία της τοπικής επιφανειακής άρδευσης με ροή υπό πίεση, αποτελούν τις μεθόδους που συνήθως αποκαλούνται μέθοδοι ή συστήματα τοπικής άρδευσης.

Οι μέθοδοι τοπικής άρδευσης, ανάλογα με το σχήμα της επιφάνειας του εδάφους που διαβρέχουν, διακρίνονται σε μεθόδους σημειακής διαβροχής (π.χ. συστήματα στάγδην), γραμμικής διαβροχής (π.χ. πορώδεις σωλήνες) ή κυκλικής διαβροχής (π.χ. μικροεκτοξευτήρες).

Με τη γενική ονομασία μέθοδοι τοπικής ή μερικής άρδευσης χαρακτηρίζονται οι μέθοδοι εκείνες, που χορηγούν το νερό κατευθείαν στις ζώνες της μεγαλύτερης ριζικής δραστηριότητας των φυτών και μόνον εκεί, αντίθετα από διάφορες παραδοσιακές μεθόδους (κατάκλυση, καταιονισμός), που χορηγούν το νερό σ' ολόκληρη την έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια.

Κατά τον Decroix (1974), τοπική άρδευση είναι μια μέθοδος που περιλαμβάνει συστήματα με μόνιμα δίκτυα διανομής υπό πίεση, τα οποία χορηγούν το νερό σε μέρος μόνο της επιφάνειας του εδάφους.

Η στάγδην άρδευση ανήκει στις μεθόδους τοπικής άρδευσης και χαρακτηρίζεται βασικά από το ότι χορηγεί το νερό στα φυτά με μικρές και συχνές δόσεις.

Κατά τους Ισραηλινούς Halevy, Boaz, Shani και Dan (Ευρωπαϊκό συνέδριο στάγδην άρδευσης, Βουκουρέστι 1972), η στάγδην άρδευση αποτελεί μια τεχνική που προορίζεται να θέσει το νερό και τα λιπάσματα κατευθείαν στη διάθεση των ριζών με διανεμητές ειδικά σχεδιασμένους και υπολογισμένους για πολύ μικρές παροχές, έτσι ώστε η κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος να είναι τρισδιάστατη και η τάση του να διατηρείται συνεχώς σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Κατά τους Αμερικανούς Marsh, Branson, Gustavson και Davis (2ο Διεθνές Συνέδριο στάγδην άρδευσης, Καλιφόρνια 1974), στάγδην άρδευση είναι η διανομή του νερού με μικρές ποσότητες, σε συχνά διαστήματα, από διανεμητές που ονομάζονται σταλακτήρες και τοποθετούνται κατά προκαθορισμένα διαστήματα στους σωλήνες διανομής. Η παροχή των σταλακτήρων πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή, ώστε η κίνηση του νερού στην επιφάνεια του εδάφους να είναι αρκετά περιορισμένη και να μη δημιουργείται «λίμνασμα νερού».

Από πλευράς ορολογίας η άρδευση στάγδην χαρακτηρίζεται και από τους ελληνικούς όρους άρδευση στάλα-στάλα, άρδευση με σταγόνες και από τους ξένους drip ή tricle irrigation, irrigation au goutte a goutte, irrigazione a goccia, riego por goteo ή riego gota - gota.

Υπάρχει επίσης και πλήθος εμπορικών ονομασιών που αναφέρονται στην άρδευση στάγδην, όπως: water miser, water saver, microtricle, micropor, irri- drip, Blass system κ.α.

Από φυτοτεχνικής πλευράς οι μέθοδοι των τοπικών αρδεύσεων επιδιώκουν τον ίδιο σκοπό που επιδιώκει και η γενικευμένη πια στην πράξη τεχνική της τοπικής λίπανσης. Δηλαδή χορήγηση του νερού ακριβώς στις θέσεις από τις οποίες πρόκειται να παραληφθεί και να αξιοποιηθεί από τα φυτά, ώστε να βελτιωθεί η θρέψη τους, να περιοριστούν κατά το δυνατόν οι απώλειες και ν' αυξηθεί κατά συνέπεια η αποτελεσματικότητα της άρδευσης.

Η ομοιότητα αυτή των σκοπών της τοπικής άρδευσης και της τοπικής λίπανσης αντανακλάται στην πρακτική των διάφορων συστημάτων τοπικής άρδευσης, στα οποία η

χορήγηση του νερού συνοδεύεται σχεδόν πάντοτε από παράλληλη χορήγηση και των λιπασμάτων, τα οποία προστίθενται στο νερό της άρδευσης.

Από οικονομικής πλευράς, οι μέθοδοι τοπικής άρδευσης προορίζονται να δώσουν λύση στο πρόβλημα της μείωσης του κόστους εφαρμογής του νερού με περιορισμό κυρίως των απαιτούμενων εργατικών χεριών. Αυτό το επιτυγχάνουν με τη μεταφορά και διανομή του νερού στα φυτά με πλήρη, μόνιμα, δίκτυα και κατάλληλους αυτοματισμούς. Γι' αυτό και στην πράξη τα συστήματα τοπικής άρδευσης συνηθίζεται να ονομάζονται από τους αγρότες και τους εγκαταστάτες συστήματα αυτόματης άρδευσης.

Σε όσους βιώνουν ή γνωρίζουν την καθημερινή πραγματικότητα της Ελληνικής γεωργίας, είναι γνωστό πως η άρδευση αποτελεί μια από τις πιο καθοριστικές καλλιεργητικές εργασίες που λαμβάνουν χώρα στον αγρό, επηρεάζοντας την τελική απόδοση των καλλιεργειών.

### **3.2. Γενική σύνθεση συστήματος στάγδην άρδευσης**

Με τον όρο σύστημα στάγδην άρδευση εννοείται ένα σύνολο σωληνώσεων, εξαρτημάτων, μηχανισμών κ.λπ. μικροϋλικών, μόνιμα εγκατεστημένων σύμφωνα με μελετημένη διάταξη, ώστε να εξασφαλίζουν τη μεταφορά και ομοιόμορφη διανομή του νερού στα φυτά της καλλιέργειας και να επιτρέπουν διάφορους βαθμούς αυτοματισμού στην εφαρμογή του νερού και στην εκτέλεση διάφορων καλλιεργητικών φροντίδων.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα στάγδην άρδευσης αποτελείται από τα δίκτυα μεταφοράς, εφαρμογής και από τη μονάδα ελέγχου.

Ειδικότερα, τα βασικά μέρη ενός τυπικού συστήματος στάγδην άρδευσης είναι τα παρακάτω (Μιχελάκης, 1994):

- Σταλακτήρες.
- Σωληνώσεις.
- Εξαρτήματα συνδεσμολογίας.
- Κέντρο ελέγχου ή κεφαλή.
- Πηγή πίεσης.

Εκτός από τα βασικά αυτά μέρη, ένα σύστημα στάγδην άρδευσης περιλαμβάνει και διάφορους μηχανισμούς, οι οποίοι εξασφαλίζουν καθένας ανάλογες λειτουργικές δυνατότητες στο δίκτυο.

Συνήθως σε ένα δίκτυο περιλαμβάνονται μηχανισμοί διήθησης του νερού, αυτοματισμού της λειτουργίας, υδρολίπανσης κ.ο.κ.

Καθένας από τους μηχανισμούς αυτούς αποτελείται από ένα σύνολο εξαρτημάτων, τα περισσότερα από τα οποία συνήθως βρίσκονται στη κεφαλή του δικτύου.

### 3.3. Ρύθμιση λειτουργίας του δικτύου

Για να θεωρηθεί σωστή η λειτουργία ενός δικτύου στάγδην άρδευσης απαιτεί την διενέργεια κάποιων χειρισμών. Αυτοί οι χειρισμοί σχετίζονται με:

- την έναρξη και παύση της λειτουργίας του δικτύου,
- τη διαδοχική υδροδότηση των διαφόρων μονάδων του, και
- τη ρύθμιση της απαιτούμενης παροχής και των φορτίων στην αρχή του δικτύου και των αγωγών τροφοδοσίας.

Η απλούστερη ρύθμιση γίνεται με την τοποθέτηση στις κατάλληλες θέσεις χειροκίνητων διακοπών (βανών) και στην περίπτωση αυτή όλοι οι χειρισμοί γίνονται με το χέρι από τον υδρονομέα. Ένας άλλος τρόπος ρύθμισης πραγματοποιείται με τη βοήθεια συγκεκριμένων βαλβίδων. Αυτές κλείνουν αυτόματα όταν περάσει μια ορισμένη ποσότητα νερού για την οποία έχουν ρυθμιστεί. Μπορούν να τοποθετηθούν είτε στην αρχή του δικτύου, είτε στην αρχή των μονάδων του. Όταν ένα δίκτυο αποτελείται περισσότερες της μιας μονάδες, η διαδοχική χορήγηση νερού μπορεί να γίνει αυτόματα με διαφραγματικές βαλβίδες.

Υπάρχει περίπτωση να αυτοματοποιηθεί η λειτουργία ενός δικτύου, με τη βοήθεια ενός προγραμματιστή. Ο προγραμματιστής αυτός θα ρυθμίζει, σύμφωνα με το πρόγραμμα άρδευσης, τη διαδοχική λειτουργία των ηλεκτρονικών διαφραγματικών βαλβίδων που είναι τοποθετημένες στην αρχή κάθε μονάδας (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

### 3.4. Βασικά χαρακτηριστικά στάγδην άρδευσης

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που διακρίνουν τη στάγδην άρδευση (Μιχελάκης, 1994) είναι:

- *Μικρή παροχή νερού.* Η παροχή του νερού κατά σταλάκτη στη στάγδην άρδευση κυμαίνεται ανάλογα με το σύστημα, οπωσδήποτε όμως είναι κατώτερη από 12 lt/h. Κατά συνέπεια η αναλογικά χορηγούμενη ποσότητα νερού ανά μονάδα επιφάνειας στη συνολικά εξυπηρετούμενη από το δίκτυο έκταση είναι συνήθως χαμηλότερη απ' ότι στις άλλες μεθόδους.

- *Μερική διαβροχή του εδάφους.* Συνέπεια της μικρής παροχής των σταλακτήρων είναι ότι η βρεχόμενη επιφάνεια κατά θέση εκροής είναι πολύ περιορισμένη. Η συνολικά διαβρεχόμενη επιφάνεια αποτελεί πάντοτε ένα ποσοστό μόνο της όλης έκτασης που εξυπηρετεί το δίκτυο. Το ίδιο συμβαίνει και όσον αφορά το βρεχόμενο όγκο του εδάφους, που αποτελεί επίσης ποσοστό μόνο του όλου εδαφικού όγκου τον οποίο εκμεταλλεύεται το ριζόστρωμα.
- *Μεγάλη συχνότητα και διάρκεια άρδευσης.* Αφού η παροχή των σταλακτήρων είναι σχετικά μικρή και ο βρεχόμενος εδαφικός όγκος ποσοστό μόνο του όλου εδαφικού όγκου, για να καλυφθούν οι ανάγκες των φυτών σε νερό, απαιτείται να έχουν μεγάλη διάρκεια και να επαναλαμβάνονται συχνά.
- *Υψηλή περιεκτικότητα και χαμηλή τάση εδαφικής υγρασίας.* Η μέγιστη αποδοτικότητα των φυτών επιτυγχάνεται όταν η υγρασία του εδάφους είναι στην υδατοϊκανότητα. Ο παραγωγός με την στάγδην άρδευση μπορεί να ρυθμίσει την παροχή, έτσι ώστε η υγρασία να βρίσκεται διαρκώς στην υδατοϊκανότητα. Η υψηλή συχνότητα και η μεγάλη διάρκεια της άρδευσης συντελούν στη δημιουργία υγρών θυλάκων στο έδαφος, με υψηλή υδατοπεριεκτικότητα και συνεπώς χαμηλή τάση υγρασίας. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα της άρδευσης τόσο τα υψηλά επίπεδα της υδατοπεριεκτικότητας και τα χαμηλά επίπεδα της τάσης διατηρούνται περισσότερο σταθερά. Στις άλλες μεθόδους, ενώ αμέσως μετά την άρδευση επιτυγχάνεται μια πολύ υψηλή υδατοπεριεκτικότητα και αντίστοιχα χαμηλή τάση, στη συνέχεια και μέχρι την επόμενη άρδευση η υδατοπεριεκτικότητα αυτή κατέρχεται και η τάση αντίστοιχα ανέρχεται, τόσο περισσότερο όσο μεγαλύτερο είναι το μεταξύ αρδεύσεων διάστημα.
- *Τρισδιάστατη κίνηση του νερού στο έδαφος.* Στις μεθόδους ολικής άρδευσης η κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος γίνεται μόνο κατά την κατακόρυφη έννοια και επομένως είναι μονοδιάστατη. Κατά τη στάγδην άρδευση η κίνηση αυτή γίνεται κατά τρεις διευθύνσεις (τρισδιάστατη).

### 3.4.1. Πλεονεκτήματα

Η παρατηρούμενη ταχύτατη επέκταση της στάγδην άρδευσης, σε διεθνή κλίμακα, οφείλεται αναμφίβολα στα σοβαρά αγρονομικά πλεονεκτήματα που συγκεντρώνει.

Εξ' αυτών τα κυριότερα είναι τα εξής:

- Οικονομία νερού.
- Οικονομία εργατικών.

- Μείωση των ζιζανίων.
- Εκτέλεση εργασιών κατά τη διάρκεια της άρδευσης.
- Εύκολη και αποτελεσματική λίπανση και εφαρμογή φυτοφαρμάκων.
- Διατήρηση ξηρού φυλλώματος.
- Χρήση χαμηλής ποιότητας αρδεύσιμου νερού.
- Ανεξαρτητοποίηση της άρδευσης από τον άνεμο και το ανάγλυφο του εδάφους.
- Ευνοϊκές συνθήκες υγρασίας.
- Ευνοϊκή επίδραση στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.
- Σύγχρονη άρδευση μεγαλύτερων εκτάσεων και αξιοποίηση μικρών παροχών.
- Προστασία περιβάλλοντος.

### 3.4.2. Μειονεκτήματα

Οποσδήποτε τα συστήματα στάγδην άρδευσης αντιμετωπίζονται σε μικρό ή μεγάλο βαθμό και διάφορα προβλήματα τα οποία αποτελούν μειονεκτήματα για τα συστήματα αυτά. Τα κυριότερα από τα προβλήματα είναι τα εξής:

- Το κόστος της εγκατάστασης.
- Εμφράξεις σταλακτήρων.
- Συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος.
- Μηχανικές ζημιές.
- Αδυναμία προστασίας από παγετούς.

### 3.5. Διαδικασία επιλογής και σχεδιασμός του κατάλληλου συγκροτήματος

Το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση είναι δαπανηρό τόσο σε κόστος-χρήμα, όσο και σε κόπο, γι' αυτό απαιτείται η ορθολογική του χρήση. Παρόλα αυτά, στην εποχή μας, παρατηρείται έντονα το φαινόμενο της κατασπατάλησης του. Για έναν σωστό ολοκληρωμένο και έμπειρο χειρισμό της άρδευσης επιβάλλεται, ο παραγωγός να γνωρίζει τους εξής παράγοντες:

- 1) Η ικανότητα των εδαφών να συγκρατούν νερό και να το διαθέτουν στα φυτά.
- 2) Η θρέψη των φυτών, που γίνεται με τη βοήθεια του νερού.
- 3) Η γνώση των συστηματικών αναγκών ποτίσματος ενός χωραφιού (πόσο νερό χρειάζεται, κάθε πότε και με ποιο τρόπο ποτίζουμε).

Η σωστή άρδευση, όπως κάποιοι ισχυρίζονται, αποτελεί μια μορφή τέχνης και όπως κάθε τέχνη διαθέτει τα μυστικά της, έτσι και αυτή έχει τα δικά της. Όμως, ο παραγωγός πριν πάρει την απόφαση για την τακτική - τον τρόπο άρδευσης που θα χρησιμοποιήσει, θα πρέπει να γνωρίζει τις δυνατότητες που έχει όπως την ποσότητα του διαθέσιμου νερού και να έχει εκτιμήσει σωστά τα γνωρίσματα - χαρακτηριστικά του αγρού του.

Για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου άρδευσης οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι η παροχή και η ποιότητα του νερού, το κλίμα, το έδαφος, το είδος της καλλιέργειας, το κόστος της μεθόδου και η ικανότητα του καλλιεργητή να διαχειρίζεται το σύστημα άρδευσης.

Η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συγκροτήματος έχει να κάνει με την έκταση και τις διαστάσεις του αγρού, τη μέση ένταση των ανέμων που επικρατούν στη περιοχή, τη καλλιέργεια που θα χρησιμοποιηθεί, το τύπο του εδάφους την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή για τις μέρες αιχμής, την αρδευτική αποδοτικότητα, τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος και το εύρος άρδευσης κατά τη περίοδο αιχμής. Γενικότερα, ο ρυθμός εφαρμογής πρέπει να μην υπερβαίνει τη διηθητικότητα του εδάφους.

Ο σχεδιασμός για τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος, καθώς επίσης και οι παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, συνήθως αγνοούνται και η αγορά τους γίνεται εμπειρικά σε συνεννόηση με τον αντίστοιχο πωλητή (Rolland, 1982; Λουϊζάκης, 1995).

Επομένως θεωρείται απαραίτητη ακόμη και σήμερα μια ολοκληρωμένη μελέτη, που να επικεντρώνεται στην αξιολόγηση, επιλογή προμήθειας και χρήση του συγκροτήματος, ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της γεωργικής επιχείρησης.

### **3.6. Συχνότητα άρδευσης**

Τυπικά, με την στάγδην άρδευση διαβρέχεται μικρότερος όγκος εδάφους σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους άρδευσης. Το γεγονός αυτό είναι πιθανό να επηρεάζει την παραγωγή.

Έρευνα έδειξε ότι εύρος άρδευσης 1, 3, 5 ή 7 ημερών δεν επηρέασε την παραγωγή καλαμποκιού. Η αποδοτικότητα χρήσης νερού άρδευσης αυξήθηκε όταν το εύρος άρδευσης ήταν μεγαλύτερο από 7 ημέρες λόγω αποθήκευσης μεγαλύτερης ποσότητας νερού που προέρχονταν από βροχόπτωση και μείωσης της βαθιάς διήθησης (Camp et al., 1989; Caldwell et al., 1994; Howell et al., 1995, 1997; Lamm και Trooien, 2003). Σε μη συμπιεσμένα εδάφη και για καλλιέργειες που αναπτύσσουν βαθύ ριζικό σύστημα, όπως το καλαμπόκι, δεν κρίνεται απαραίτητη η συχνή στάγδην άρδευση με δόσεις άρδευσης που φτάνουν το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (Lamm και Trooien, 2003).



Οι Howell et al. (1997) αναφέρουν ότι εύρος άρδευσης μιας ημέρας ή μιας εβδομάδας δεν επηρεάζουν την παραγωγή είτε εφαρμόζεται επιφανειακή είτε υπόγεια στάγδην άρδευση σε αργιλοπηλώδη εδάφη του Texas. Οι Camp et al., (1989) αναφέρουν ότι η συχνότητα άρδευσης δεν επηρέασε την παραγωγή καλαμποκιού στις παράκτιες πεδιάδες του Ατλαντικού. Ο Camp (1998) αναφέρει ότι σε διάφορες έρευνες σχετικά με την επίδραση της συχνότητας άρδευσης στην απόδοση των καλλιεργειών τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε ορισμένους τύπους εδαφών παρατηρήθηκαν διαφορές ενώ σε άλλους όχι. Οι χορτοδοτικές καλλιέργειες σε χονδρόκοκκα αβαθή εδάφη ανταποκρίνονται θετικά στην συχνή άρδευση (Lamm και Trooien, 2003). Οι Plaut et al. (1988) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συχνή στάγδην άρδευση στο βαμβάκι προκαλεί περιορισμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος γιατί ο όγκος υγρού εδάφους περιορίζονταν σε βάθος 0,3-0,4cm. Αντίθετα, οι Phene και Beale (1976) αλλά και οι Phene et al. (1990) έδειξαν ότι το μήκος του ριζικού συστήματος καθώς και ο όγκος εδάφους που κάλυπτε το ριζικό σύστημα καλλιέργειας γλυκού καλαμποκιού μπορούσε να αυξηθεί εφαρμόζοντας υπόγεια στάγδην άρδευση.

### 3.7. Δόσεις άρδευσης

Ο φυσικός πόρος που ονομάζεται νερό δεν είναι ανεξάντλητος. Οι προβλεπόμενες κλιματικές μεταβολές και ειδικότερα η αύξηση της θερμοκρασίας και η μείωση των βροχοπτώσεων πρόκειται να εντείνουν το πρόβλημα της έλλειψης νερού. Επομένως, για την διατήρηση των αποθεμάτων νερού θα πρέπει, εκτός των άλλων μέτρων, να γίνει ορθολογική χρήση μέσα από τη λεπτομερή καταγραφή των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό και τον προσεκτικό σχεδιασμό των αρδεύσεων (Howell et al., 1998). Οι δόσεις άρδευσης ποικίλουν και εκφράζονται ως αναλογίες μιας μετρημένης ή υπολογισμένης ποσότητας, η οποία είναι συνήθως η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή όπως αυτή μετράται με διάφορες μεθόδους (Penman-Monteith, εξατμισόμετρο τύπου A, περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας κ.α.). Η εξάντληση των αποθεμάτων νερού και η αύξηση του κόστους οδηγεί στην μείωση των αρδευόμενων εκτάσεων την υιοθέτηση τεχνικών και τεχνολογιών άρδευσης μεγάλης αποδοτικότητας (ελλειμματική άρδευση, περιοδική εναλλαγή αρδευόμενων και μη αρδευόμενων εκτάσεων) (Unger και Wiese, 1979; Stewart et al., 1983)

Μια δόση άρδευσης καθορίζεται συνήθως με βάση την επιθυμητή παραγωγή αλλά και την αποδοτικότητα χρήσης νερού. Αποδοτικότητα χρήσης νερού είναι η αναλογία της παραγωγής δια την συνολική ποσότητα νερού άρδευσης που χορηγήθηκε σε μια καλλιέργεια (Monteith, 1993). Έχει υπολογιστεί ότι η αποδοτικότητα χρήσης νερού στο καλαμπόκι είναι 0,048 Mg/ha για κάθε mm νερού που εφαρμόζεται επιπλέον των 325mm (Lamm et al., 1995). Οι δόσεις

άρδευσης που μελετήθηκαν στην ίδια έρευνα ήταν 25, 50, 75, 100 και 125% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τις καθαρές απαιτήσεις σε νερό του καλαμποκιού έδειξαν ότι με προσεκτική εφαρμογή της στάγδην άρδευσης, ιδιαίτερα της υπόγειας, μειώθηκαν οι καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό κατά 25%. Αυτή η μείωση της τάξης του 25% μεταφράζεται σε μείωση των καθαρών αναγκών της καλλιέργειας σε νερό που κυμαίνεται μεταξύ 35-55% όταν εφαρμόζεται καταιονισμός ή άρδευση με αυλάκια (Lamm και Trooien, 2003). Οι Bhattarai et al. (2003) εφάρμοσαν διαφορετικές δόσεις άρδευσης (50, 75, 90 και 120% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής) σε καλλιέργεια βαμβακιού, η οποία σπάρθηκε σε βαρύ αργιλώδες έδαφος και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπόγεια στάγδην άρδευση με δόση άρδευσης ίση με το 75% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής έδωσε μεγαλύτερη παραγωγή ενώ το νερό άρδευσης εφαρμόστηκε αποδοτικότερα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

Οι Curt et al. (1995) πραγματοποίησαν έρευνα εφαρμόζοντας τρεις διαφορετικές δόσεις άρδευσης σε γλυκό σόργο (33, 67 και 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής). Από την έρευνα προέκυψε ότι το γλυκό σόργο ανταποκρίνονταν θετικά στην αύξηση της δόσης άρδευσης ως προς την παραγωγή βιομάζας και την ανάπτυξη του φυτού ενώ η αποδοτικότητα άρδευσης δεν παρουσίασε διαφορές. Η περιεκτικότητα σε σάκχαρα δεν επηρεάστηκε από τη δόση άρδευσης. Οι Saeed και El-Nadi (1998) αναφέρουν ότι σε καλλιέργεια σανοδοτικού σόργου παρατηρήθηκε μείωση του ύψους, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και της ξηρής βιομάζας όταν το εύρος και η δόση άρδευσης αυξάνονταν. Οι Sakellariou-Makrantonaki et al. (2007) αναφέρουν ότι η παραγωγή χλωρής βιομάζας του γλυκού σόργου δεν διέφερε όταν εφαρμόστηκε υπόγεια στάγδην άρδευση με δόση ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής και επιφανειακή στάγδην άρδευση με δόση ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής. Οι Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη κ.α., (2006, 2007) αναφέρουν ότι η παραγωγή βαμβακιού δεν διέφερε όταν εφαρμόστηκε υπόγεια στάγδην άρδευση με τις ίδιες δόσεις άρδευσης.

Στη Λουϊζιάνα των Η.Π.Α. πραγματοποιήθηκε έρευνα σε καλλιέργεια πιπεριάς όπου η δόση άρδευσης υπολογίστηκε με τη μέθοδο του εξατμισιμέτρου. Μελετήθηκε η επίδραση διαφορετικών δόσεων άρδευσης στην απόδοση της καλλιέργειας και από τα αποτελέσματα έγινε φανερό ότι η διαφορετική δόση άρδευσης δεν επηρέασε την παραγωγή (Bracy et al., 1995). Οι Sutton et al (1985) αναφέρουν καλύτερη απόδοση σε καλλιέργεια τομάτας όταν εφαρμόστηκε πλήρης άρδευση σε σύγκριση με την εφαρμογή ελλειμματικής δόσης άρδευσης, η οποία υπολογίστηκε με βάση το υδατικό δυναμικό του εδάφους. Οι Hanson και May (2004) διαπίστωσαν μείωση στην παραγωγή βιομηχανικής τομάτας όταν μειώθηκε η άρδευση από 90% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής σε 30% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής.

### 3.8. Σχεδιασμός, λειτουργία και διαχείριση

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος άρδευσης πρέπει να ξεκινά από τον καθορισμό της χρήσης και των στόχων που καλείται να εξυπηρετήσει το συγκεκριμένο σύστημα. Οι Δέρκας και Καραντούνιας το (2003) αναφέρουν ότι ένας από τους λόγους υπερκατανάλωσης νερού είναι η χρήση μεθόδων άρδευσης διαφορετικών από αυτές για τις οποίες σχεδιάστηκε το δίκτυο. Έπειτα θα πρέπει να γίνει μελέτη των ιδιοτήτων της περιοχής στην οποία θα εγκατασταθεί το σύστημα (κλιματικά στοιχεία, ανάγλυφο, τύπος εδάφους), της διαθεσιμότητας και της ποιότητας του νερού άρδευσης, των παραγωγικών χαρακτηριστικών της καλλιέργειας και της έκτασης του χωραφίου. Ο σχεδιαστής οφείλει να σχεδιάσει το σύστημα άντλησης, μεταφοράς και εφαρμογής του νερού άρδευσης κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη ομοιομορφία άρδευσης με το ελάχιστο οικονομικό κόστος. Μέριμνα του σχεδιαστή είναι να χρησιμοποιήσει υλικά και μεθόδους που να είναι συμβατές με την καλλιεργητική πρακτική της περιοχής. Το τελικό σχέδιο θα πρέπει να υφίσταται θεωρητική αξιολόγηση της καταλληλότητας και σωστής λειτουργίας του πριν προταθεί για εφαρμογή στο πεδίο (Clark, 2008).

Η στάγδην άρδευση και ειδικά η υπόγεια είναι δυνατό να λειτουργεί με διάφορους τρόπους είτε χειροκίνητα είτε μερικώς αυτοματοποιημένα είτε πλήρως αυτοματοποιημένα. Τα συστήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης αυτοματοποιούνται πιο εύκολα από οποιοδήποτε άλλο σύστημα άρδευσης κυρίως γιατί ο έλεγχος γίνεται από ένα κεντρικό σημείο στο οποίο βρίσκονται συγκεντρωμένες συσκευές φιλτραρίσματος νερού, έγχυσης χημικών ουσιών, πνευματικές ή ηλεκτρικές βαλβίδες, απλοί προγραμματιστές άρδευσης ή συστήματα μικροεπεξεργαστών με δυνατότητα λήψης και αποστολής σημάτων για την έναρξη και τον τερματισμό των αρδεύσεων (Camp και Lamm, 2008).

Ο προγραμματισμός των αρδεύσεων αποτελεί ένα από τους κρίσιμους παράγοντες για τη σωστή λειτουργία κάθε συστήματος άρδευσης. Η ποσότητα και το εύρος άρδευσης εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, το είδος της καλλιέργειας, και το σύστημα άρδευσης που θα εφαρμοστεί. Σε πολλές περιοχές η εγκατάσταση της καλλιέργειας αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επίτευξη ικανοποιητικής παραγωγής ιδιαίτερα σε ξηρά ή ημιξηρικά κλίματα. Σε αυτές τις περιοχές, όπου η εδαφική υγρασία και οι βροχοπτώσεις δεν επαρκούν για το ικανοποιητικό φύτρωμα της καλλιέργειας, πρέπει να υπάρχει μέριμνα για την εφαρμογή επιφανειακής στάγδην άρδευσης. Όταν εφαρμόζεται υπόγεια στάγδην άρδευση για φύτρωμα καλλιεργειών τότε η ποσότητα νερού που απαιτείται είναι μεγάλη και μπορεί να προκληθεί απώλεια νερού λόγω βαθιάς διήθησης οπότε αυξάνεται το κόστος. Επιφανειακή διαβροχή είναι δυνατό να παρατηρηθεί όταν η παροχή του σταλάκτη είναι μεγαλύτερη από την υδραυλική αγωγιμότητα

του εδάφους γύρο από αυτόν αλλά σε αυτές τις περιπτώσεις παρατηρείται ανομοιομορφία άρδευσης. Τέλος θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την έκπλυση των αλάτων που συσσωρεύονται πάνω από το σταλάκτη, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η βροχοπτώσεις δεν επαρκούν για την έκπλυσή τους σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους (Camp και Lamm, 2008).

Συνήθως ένα σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης θα πρέπει να έχει διάρκεια ζωής μεγαλύτερη των 10 ετών, για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η χρήση του, όταν χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιεργειών χαμηλής προσόδου. Επομένως θα πρέπει να εφαρμόζονται κατάλληλες τεχνικές έτσι ώστε να αποφεύγονται εμφράξεις των σταλακτήρων και καταστροφές των αγωγών εφαρμογής. Η αντικατάσταση και ο έλεγχος για τυχόν φθορές είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί στα συστήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης γιατί μεγάλο μέρος των εξαρτημάτων τους είναι θαμμένο στο έδαφος. Επομένως, οι λειτουργικές παράμετροι (παροχή, πίεση) ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να ελέγχονται συχνά και να αποτελούν δείκτες για την καλή λειτουργία του συστήματος. Η καλή λειτουργία επιτυγχάνεται με την συνεχή παρακολούθηση και διατήρηση της ποιότητας του νερού σε υψηλά επίπεδα, με το κατάλληλο φιλτράρισμα του νερού και με τον καθαρισμό των αγωγών εφαρμογής για την αποφυγή συσσώρευσης υλικών τα οποία μπορεί να προκαλέσουν εμφράξεις των σταλακτήρων. Περιοδική αξιολόγηση της πραγματικής λειτουργίας του συστήματος άρδευσης σε σύγκριση με την θεωρητική κατά τον σχεδιασμό του συστήματος είναι δυνατό να αναδείξει τυχόν προβλήματα έγκαιρα, πριν αυτά να εξελιχτούν σε σοβαρά, επηρεάζοντας την ποσότητα και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων (Camp και Lamm, 2008).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Ελλειμματική άρδευση

#### 4.1. Γενικά

Παραδοσιακά η γεωργική έρευνα είχε ως πρωταρχικό στόχο τη μεγιστοποίηση της συνολικής παραγωγής. Τα τελευταία χρόνια, όμως, έχει δοθεί έμφαση στους περιοριστικούς παράγοντες παραγωγής, κυρίως στη διαθεσιμότητα εδαφικών ή υδάτινων πόρων. Στο πλαίσιο αυτό η ελλειμματική άρδευση (DI) έχει μελετηθεί ευρέως ως πολύτιμη στρατηγική κυρίως για ξηρές περιοχές, όπου το νερό είναι ο περιοριστικός παράγοντας της καλλιέργειας (Fereres και Soriano, 2007).

Η ελλειμματική άρδευση είναι μια στρατηγική άρδευσης κατά την οποία η καλλιέργεια εκτίθεται σε υδατικό στρες είτε κατά τη διάρκεια μιας μεμονωμένης αυξητικής περιόδου, είτε κατά τη διάρκεια όλης της αύξησης με μικρές μόνο συνέπειες στην παραγωγή. Είναι ένα αποτελεσματικό σύστημα διαχείρισης νερού, καθώς η επίδρασή της στην απόδοση των καλλιεργειών μπορεί να είναι αμελητέα, αρκεί το υδατικό στρες να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας, όπου δηλαδή η καλλιέργεια θα είναι λιγότερο ευαίσθητη στην έλλειψη νερού (FAO, 2002).

Σε ξηρές περιοχές ειδικότερα κάνοντας χρήση της ελλειμματικής άρδευσης, η άρδευση εφαρμόζεται μόνο στα ευαίσθητα στο υδατικό στρες στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Στα υπόλοιπα στάδια εφαρμόζεται ελάχιστη ή και καθόλου άρδευση. Κατά συνέπεια η συνολικά εφαρμοζόμενη άρδευση δεν είναι ανάλογη των απαιτήσεων της καλλιέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του βιολογικού της κύκλου. Αν και αυτό οδηγεί αναπόφευκτα στην απώλεια της παραγωγής, η ελλειμματική άρδευση αυξάνει την αποδοτικότητα χρήσης νερού, μεγαλώνοντας την παραγωγή ανά μονάδα νερού που εφαρμόζεται και οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη (English, 1990).

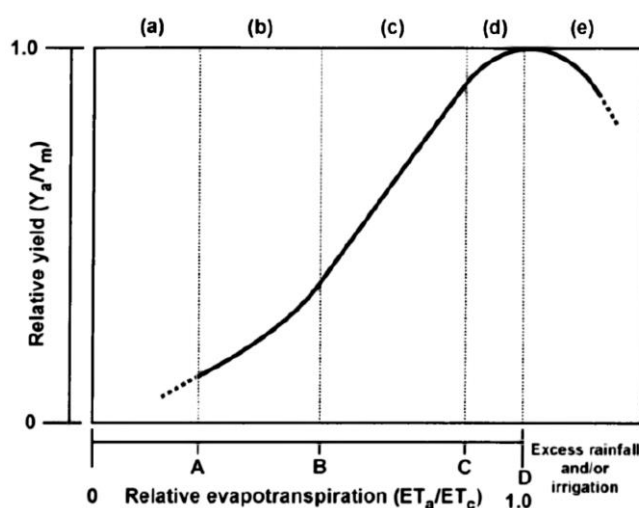
Η αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) είναι ο βασικός όρος για την αξιολόγηση των στρατηγικών ελλειμματικής άρδευσης.

Σε περιοχές με έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας θα πρέπει γενικά να προτιμώνται οι καλλιέργειες με υψηλή αποδοτικότητα χρήσης νερού. Αυτός βέβαια δεν είναι ο μόνος παράγοντας, καθώς σε περιπτώσεις όπως αυτές των φρούτων ή των σιτηρών, μπορεί η αποδοτικότητα χρήσης νερού να είναι χαμηλότερη όμως η θρεπτική τους αξία είναι μεγαλύτερη

και αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό της ελλειμματικής άρδευσης (Geerts και Raes, 2009).

## 4.2. Καμπύλη Παραγωγικότητας Νερού

Η καμπύλη παραγωγικότητας νερού (Crop Water Production function) έχει γενικά τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 4.1 (Geerts και Raes, 2009).



Σχήμα 4.1. Καμπύλη παραγωγικότητας νερού (CWP).

Η καμπύλη αυτή εκφράζει τη σχέση του εμπορικά εκμεταλλεύσιμου παραγόμενου προϊόντος (Y<sub>a</sub>) προς τη συνολική εξατμισοδιαπονοή (ET<sub>a</sub>). Δίνει μια πρώτη ένδειξη αν η αποδοτικότητα χρήσης νερού παρουσιάζεται μέγιστη σε συνθήκες υψηλής ET<sub>a</sub> ή χαμηλότερης. Λόγω μεγάλης διασποράς τα συμπεράσματα είναι προσεγγιστικά (Geerts και Raes., 2009).

Στα πλαίσια της λειτουργίας της καμπύλης παραγωγικότητας νερού διακρίνονται 5 τμήματα που μπορεί από καλλιέργεια σε καλλιέργεια να διαφέρουν ή ακόμη και να απουσιάζουν (Doorenbos και Kassam, 1979):

Τμήμα a : Η αποδοτικότητα χρήσης νερού είναι πολύ χαμηλή και ο μόνος τρόπος να αυξηθεί η παραγωγή ή η αποδοτικότητα είναι να προστεθεί μια σημαντική ποσότητα νερού μέχρι το τμήμα b (Geerts και Raes., 2009).

Τμήμα b: Η καμπύλη έχει ένα κοίλο σχήμα: οποιαδήποτε αύξηση της δόσης άρδευσης οδηγεί σε ανάλογη αύξηση της αποδοτικότητας.

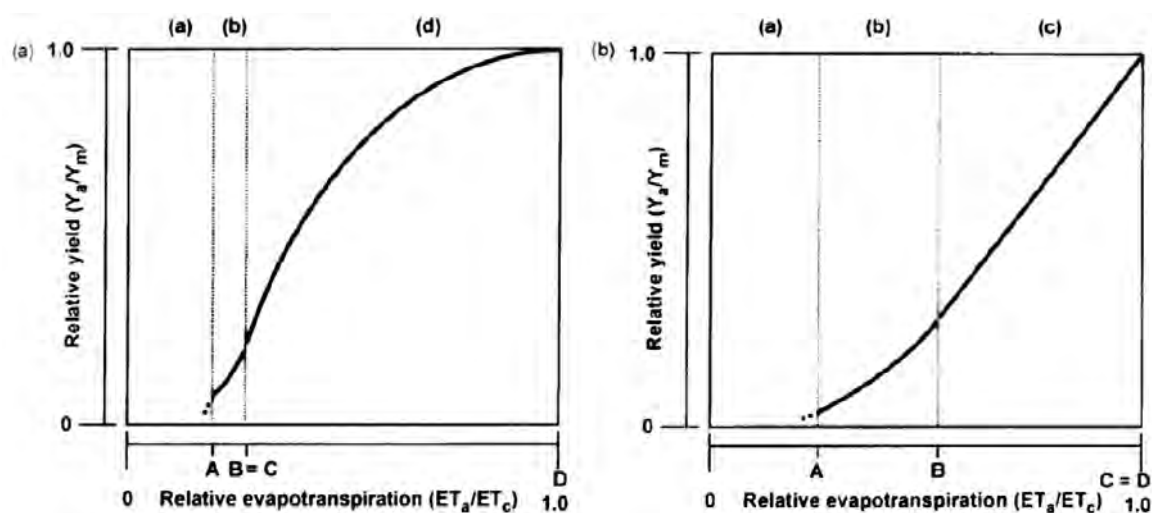
Τμήμα c: Με συμπληρωματική άρδευση η καμπύλη γίνεται σχεδόν γραμμική με κλίση που κυμαίνεται από ήπια ως έντονη. Σύμφωνα με τους Doorenbos και Kassam (1979) υπάρχει ένα

κατώτερο όριο (σημείο B στην εικόνα που αντιστοιχεί σε  $ETr=0,5$ ), όπου η σχέση σχετικής παραγωγής ( $Y_r$ ) και σχετικής εξατμισοδιαπνοής ( $ETr$ ) ξεκινάει να είναι γραμμική.

Τμήμα d: Η κλίση της καμπύλης μειώνεται όσο η τιμή της  $ETo$  πλησιάζει στο 1 (σημείο D). Στο τμήμα αυτό παρατηρείται αύξηση της παραγωγής με παράλληλη όμως μείωση της αποδοτικότητας. Το τμήμα αυτό για ορισμένες καλλιέργειες μπορεί να είναι σχετικά μεγάλο, π.χ. σιτάρι (Zhang et al., 2008) ή βαμβάκι (DeTar, 2008). Για καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, το τμήμα D μπορεί να απουσιάζει (Payero et al., 2006).

Τμήμα e: Στο τμήμα αυτό εφαρμόζεται νερό περισσότερο από τις ανάγκες της καλλιέργειας με αποτέλεσμα πολλές φορές ακόμη και να πέφτει παραγωγή ως αποτέλεσμα έκπλυσης των θρεπτικών στοιχείων (Sun et al., 2006). Στο τμήμα αυτό η άρδευση δεν είναι απαραίτητη εκτός και αν αποσκοπεί στην έκπλυση αλάτων από το ριζικό σύστημα (Geerts και Raes, 2009).

Στο Σχήμα 4.2 φαίνεται η διαφοροποίηση της καμπύλης παραγωγικότητας νερού για ανθεκτικές ή μη καλλιέργειες στην ξηρασία.



Σχήμα 4.2. Μορφή της καμπύλης CWP για a) σχετικά ανθεκτικές και b) ευαίσθητες στην ξηρασία καλλιέργειες.

Στο πρώτο σχέδιο το τμήμα d της καμπύλης έχει ένα κοίλο σχήμα και αυτό μαρτυρά την ανοχή της καλλιέργειας σε συνθήκες ξηρασίας και άρα το όφελος από την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης. Έχουν παρατηρηθεί τέτοια σχήματα σε καλλιέργεια σιταριού (Zhang, 2003), αλλά σε πειράματα με καλλιέργεια σόγιας (Sincic et al., 2008).

Στο δεύτερο σχέδιο φαίνεται ότι το τμήμα d της καμπύλης απουσιάζει και η καμπύλη είναι γραμμική μέχρι και το σημείο όπου το παρεχόμενο νερό ισοδυναμεί με τις απαιτήσεις σε νερό της καλλιέργειας. Η γραμμική μορφή της καμπύλης σημαίνει με απλά λόγια ότι η αποδοτικότητα της χρήσης νερού αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση της ποσότητας του

αρδευτικού νερού μέχρι και την ολική κάλυψη των απαιτήσεων της καλλιέργειας σε νερό, οπότε από αγρονομικής άποψης η εφαρμογή της τεχνικής της πλήρους άρδευσης είναι πιο συμφέρουσα από την ελλειμματική άρδευση (Geerts και Raes., 2009). Τέτοιας μορφής καμπύλη παρατηρήθηκαν σε καλλιέργεια καλαμποκιού (Payero et al., 2006) και μελιτζάνας (Lovelli et al., 2007).

#### 4.3. Προγραμματισμός ελλειμματικής άρδευσης

Οι πρακτικές της ελλειμματικής άρδευσης διαφέρουν από τις παραδοσιακές πρακτικές αποθήκευσης νερού. Ο διαχειριστής πρέπει να είναι άριστος γνώστης της αντίδρασης της καλλιέργειας στο υδατικό στρες είτε κατά τη διάρκεια καθορισμένων σταδίων αύξησης, είτε σε όλη την αυξητική περίοδο (Kirda et al., 1999). Βέβαια η τεχνική της ελλειμματικής άρδευσης δεν έχει ευεργετικά αποτελέσματα σε όλες τις καλλιέργειες. Καλλιέργειες ανθεκτικές στο υδατικό στρες, όπως το βαμβάκι, το καλαμπόκι, το σιτάρι, ο ηλίανθος, και το ζαχαρότευτλο μπορούν να ενσωματωθούν επιτυχώς στις πρακτικές της ελλειμματικής άρδευσης. Για πιο ευαίσθητες καλλιέργειες, όπως η πατάτα, η ελλειμματική άρδευση αποδείχθηκε λιγότερο οικονομική (FAO, 1998). Επίσης θα πρέπει να επιλέγονται οι κατάλληλες καλλιέργειες με καταλληλότερες εκείνες με μικρό βιολογικό κύκλο αλλά και ανθεκτικότητα στην ξηρασία. Τέλος, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ικανότητα συγκράτησης του νερού του εδάφους. Έχει βρεθεί πως τα εδάφη με λεπτή υφή είναι τα πλέον κατάλληλα για εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης (Stewart and Musick, 1982).

Σκοπός της ελλειμματικής άρδευσης είναι η αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού μιας καλλιέργειας εξαλείφοντας τις αρδεύσεις που έχουν ελάχιστο αντίκτυπο στην παραγωγή. Η μείωση της παραγωγής που προκύπτει είναι μικρή, συγκρινόμενη με τα οφέλη που αποκομίζονται εκτρέποντας το αποθηκευμένο νερό για άρδευση άλλων καλλιεργειών για τις οποίες το νερό θα ήταν ανεπαρκές με τις παραδοσιακές πρακτικές άρδευσης (FAO, 1998).

Για να καθοριστούν οι σχέσεις μεταξύ απόδοσης και εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιείται το μοντέλο Stewart (1977):

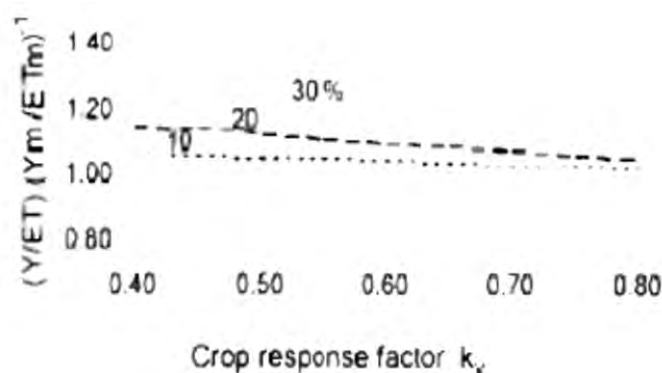
$$E_c = \frac{Y}{ET_a} = \left( K_y - \frac{K_y - 1}{ET_a - ET_m} \right) * \left( \frac{Y_m}{ET_m} \right) \quad [4.1]$$

όπου  $Y$  και  $ET_a$  είναι η παραγωγή και η εξατμισοδιαπνοή αντίστοιχα κάτω από συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης και  $Y_m$  και η  $ET_m$  η μέγιστη παραγωγή και εξατμισοδιαπνοή αντίστοιχα σχετικές με πλήρως αρδευόμενη καλλιέργεια,  $K_y$  είναι ένας παράγοντας αντίδρασης της καλλιέργειας που ποικίλλει ανάλογα με το είδος, την ποικιλία, την αρδευτική μέθοδο και διαχείριση και το στάδιο αύξησης όταν υπάρχει ελλιπής εξατμισοδιαπνοή. Οι



υπολογισμοί των  $Y_m$ ,  $ET_a$  και  $ET_m$  τεκμηριώνονται καλά και η βιβλιογραφία έχει δώσει τιμές για το  $K_y$  (FAO, 1998). Από τις 4 αυτές παραμέτρους μπορούμε να υπολογίσουμε την  $Y_a$  όπου το διαθέσιμο απόθεμα νερού δεν καλύπτει τις υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας. Ο παράγοντας  $K_y$  αποτελεί μια ένδειξη της ανθεκτικότητας της καλλιέργειας στο υδατικό στρες.

Καθώς ο παράγοντας της αντίδρασης παραγωγής  $K_y$  αυξάνεται, η αποδοτικότητα χρήσης νερού μειώνεται πράγμα το οποίο σημαίνει ότι το όφελος από την ελλειμματική άρδευση είναι απίθανο. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 4.3 το οποίο δείχνει τη σχέση μεταξύ της εξωτερικής αποδοτικότητας χρήσης νερού, του  $K_y$  και του σχεδιασμένου ελλείμματος  $ET$ .



**Σχήμα 4.3.** Σχέση μεταξύ του βαθμού αποδοτικότητας της άρδευσης (WUE), του παράγοντα αντίδρασης  $K_y$  και του σχεδιασμένου ελλείμματος  $ET$  (%).

Ένας παράγοντας αντίδρασης μεγαλύτερος από τη μονάδα δείχνει ότι η αναμενόμενη σχετική παραγωγή μειώνεται για δεδομένη εξατμισοδιαπνοή και η μείωση αυτή είναι αναλογικά μεγαλύτερη από τη σχετική μείωση στην εξατμισοδιαπνοή (Kirda et al., 1999). Στην περίπτωση αυτή δεν παρουσιάζονται οφέλη από τη χρήση της ελλειμματικής άρδευσης. Στον Πίνακα 3.1. παρουσιάζονται κάποιες τιμές κατά FAO του  $K_y$  για διάφορες καλλιέργειες. Γενικά τέσσερα φυσιολογικά στάδια αύξησης για κάθε καλλιέργεια είναι αρκετά για να περιγράψουν την ευαισθησία των καλλιεργειών στο στρες.

- Αρχικό (καλλιέργεια ως το 10% της κάλυψης του εδάφους),
- Ανάπτυξη (από το 10% της κάλυψης μέχρι την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια και την άνθηση),
- Μέση περίοδος (από την πλήρη κάλυψη μέχρι την ωρίμανση),
- Τελικό στάδιο (από την ωρίμανση μέχρι τη συγκομιδή).

**Πίνακας 4.1.** Τιμές κατά FAO του συντελεστή αντίδρασης Ky για διάφορες καλλιέργειες.

Καλλιέργεια	Tr <sub>000</sub>	Tr <sub>011</sub>	Tr <sub>101</sub>	Tr <sub>110</sub>	Tr <sub>111</sub>
Βαμβάκι	0,85	0,20	0,50		0,25
Φασόλι	1,15	0,20	1,10	0,75	0,2
Καλαμπόκι	1,25				
Πατάτα	1,10	0,60		0,70	0,20
Ηλίανθος	0,95	0,4	1	0,8	
Σιτάρι	1,00	0,20	0,60	0,50	

Tr<sub>0000</sub> αναφέρεται σε συνεχή ελλειμματική άρδευση, ενώ οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις αφορούν περιορισμένη παροχή νερού σε συγκεκριμένα μόνο στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας (οι δείκτες 0 και 1 ανταποκρίνονται στα στάδια κατά τα οποία το αρδευτικό νερό περιορίστηκε ή όχι).

Παρατηρούμε ότι για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια είναι πιθανό σε ορισμένα στάδια να είναι μεγαλύτερος, ενώ σε κάποια άλλα όχι. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το φασόλι: από τον πίνακα διαπιστώνουμε ότι στέρηση νερού της καλλιέργειας φασολιού κατά το δεύτερο στάδιο ανάπτυξης δε συμφέρει, όπως επίσης ούτε εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης σε όλη την αυξητική περίοδο. Αντίθετα επιβολή υδατικού στρες κατά τη διάρκεια του πρώτου, του τρίτου ή του τέταρτου σταδίου αύξησης θα αποφέρει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη.

#### **4.4. Πλεονεκτήματα και προϋποθέσεις εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης**

Η ελλειμματική άρδευση είναι μια στρατηγική άρδευσης που μεγιστοποιεί την αποδοτικότητα χρήσης νερού. Αυτό είναι και το κύριο πλεονέκτημά της. Αν και παρουσιάζεται συνήθως μια αρκετά σημαντική απώλεια παραγωγής, η ποιότητα του παραχθέντος προϊόντος είναι καλύτερη, με αποτέλεσμα η διαφορά αυτή να ισοσταθμίζεται (Cui et al, 2008, Hueso και Cuevas, 2008). Ειδικά σε μέρη που υπάρχει έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας, η ελλειμματική άρδευση σταθεροποιεί την παραγωγή, δίνοντας έτσι εγγυήσεις στους παραγωγούς για ένα σταθερό εισόδημα, επιτρέποντας τους κατ' αυτόν τον τρόπο έναν καλύτερο οικονομικό σχεδιασμό (Geerts και Raes, 2009).

Σημαντική θεωρείται και η εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στον περιορισμό διάφορων μυκητολογικών ασθενειών. Με άλλα λόγια το περιβάλλον που δημιουργείται γύρω από την καλλιέργεια είναι λιγότερο υγρό από ότι σε συνθήκες πλήρους άρδευσης, περιορίζοντας έτσι το ρίσκο προσβολής από μύκητες (Cicogna et al., 2005).

Ένα ακόμη θετικό στοιχείο της ελλειμματικής άρδευσης έχει να κάνει με τη λίπανση της καλλιέργειας. Πιο συγκεκριμένα με τη χρήση μικρότερης ποσότητας νερού υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στη χρήση των λιπασμάτων. Αυτό γιατί περιορίζεται η έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα της λιπαντικής ουσίας στο εδαφικό διάλυμα (Garabet et al., 1998).

Καθοριστική είναι η εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης σε περιοχές όπου η διαθέσιμη προσφορά νερού είναι ανεπαρκής για την άρδευση όλων των εκτάσεων. Σε τέτοιες περιοχές η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού είναι συνήθως πιο προσοδοφόρα για τους παραγωγούς από ότι η μεγιστοποίηση της παραγωγής (English, 1990). Με τη χρήση της στρατηγικής της ελλειμματικής άρδευσης δίνεται προτεραιότητα στο κοινόχρηστο όφελος και όχι στον κάθε παραγωγό ξεχωριστά. Αντί να χρησιμοποιείται η πρακτική της πλήρους άρδευσης, εφαρμόζοντας την ελλειμματική άρδευση, το αποθηκευμένο νερό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση επιπλέον εκτάσεων στην περιοχή (Kipkorir et al., 2001).

Τέλος, βελτιώνει τον έλεγχο της ημερομηνίας σποράς και τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ανεξάρτητα από την έναρξη των βροχοπτώσεων και ως εκ τούτου βελτιώνει τον αρδευτικό σχεδιάσμα (Geerts et al., 2008).

Οι προϋποθέσεις για την αποτελεσματική εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης μπορούν να συνοψιστούν στις εξής:

- είναι επιτακτική η γνώση της αντίδρασης της καλλιέργειας στο υδατικό στρες.
- πρέπει να υπάρχει επαρκής πρόσβαση στο νερό κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης (ευαίσθητα στην ξηρασία στάδια της καλλιέργειας) κάτι εξαιρετικά δύσκολο για τις ξηρές περιοχές.
- πρέπει να εξασφαλίζεται μια ελάχιστη ποσότητα νερού κάτω από την οποία η ελλειμματική άρδευση δεν έχει σημαντική θετική επίδραση (Zhang, 2003).
- ο κάθε μεμονωμένος παραγωγός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τα οφέλη για το σύνολο των παραγωγών που χρησιμοποιούν το αρδευτικό νερό στην περιοχή (επιπλέον γη μπορεί να αρδεύεται με το αποθηκευμένο νερό), όταν η δική του καλλιέργεια παρουσιάζει μειωμένη παραγωγή.
- τέλος, οι παραγωγοί θα πρέπει να αναμένουν αύξηση της αλατότητας τους εδάφους κάτω από συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης σε σχέση με την εφαρμογή πλήρους άρδευση (Geerts et al., 2009).

#### 4.5. Εφαρμογές της ελλειμματικής άρδευσης

Πειράματα σε διάφορες καλλιέργειες επιβεβαιώνουν πως η ελλειμματική άρδευση μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα χρήσης νερού χωρίς σημαντική μείωση της παραγωγής. Για παράδειγμα, σε καλλιέργεια χειμερινού σιταριού στην Τουρκία, η ελλειμματική άρδευση διπλασίασε την αποδοτικότητα χρήσης νερού σε σχέση με συνθήκες πλήρους άρδευσης (libeyi et al., 2006). Το ίδιο είχε παρατηρηθεί και σε καλλιέργεια βαμβακιού (Geerts et al., 2008). Ορισμένες καλλιέργειες κηπευτικών, επίσης, ανταποκρίνονται θετικά στην ελλειμματική άρδευση (Raes et al., 2008).

Οι Decras και Liakatas (2006) αναφέρουν ότι η αποδοτικότητα χρήσης νερού αυξάνεται σε φυτά που αρδεύονται ελλειμματικά λόγω αποδοτικότερης χρήσης του αρδευτικού νερού. Οι Sakellariou-Makrantonaki et al. (2007) αναφέρουν ανάλογα αποτελέσματα σε γλυκό σόργο.

Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η ελλειμματική άρδευση μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού του σιταριού χωρίς σημαντική ελάττωση της παραγωγής. Σε πείραμα που διενεργήθηκε το 2006-07 στη βόρεια Κίνα μελετήθηκε η επίδραση του υδατικού στρες σε τρεις ποικιλίες σιταριού εφαρμοζόμενο σε οποιοδήποτε από τα τέσσερα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας και παρατηρήθηκε αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού έως και 12,87% (Du et al., 2010).

Έχουν μελετηθεί επίσης οι επιπτώσεις της ελλειμματικής άρδευσης σε καλλιέργεια ελιάς. Στην Κόρδοβα της Ισπανίας διενεργήθηκε πείραμα από το 2004 έως το 2006 (Iniesta et al., 2008) που αφορούσε στην επιβολή υδατικού στρες σε ποσοστό 75% των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας ελιάς και πλήρης διακοπή της άρδευσης από 1 Ιουλίου έως 15 Σεπτεμβρίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγάλη αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού. Η στρατηγική αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις μεσογειακές χώρες όπου οι χειμερινές και οι ανοιξιάτικες βροχές προστατεύουν την καλλιέργεια από υδατικό στρες κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας και της ωρίμανσης του καρπού (Iniesta et al., 2008).

Και στα οπωροφόρα δέντρα υπάρχουν αποτελέσματα πολλών ερευνών. Έχει αποδειχθεί ότι με τη χρήση της ελλειμματικής άρδευσης η αποδοτικότητα χρήσης νερού μπορεί να παρουσιάσει αύξηση έως και 60% χωρίς απώλειες στην παραγωγή ή ουσιαστική μείωση της φυτικής ευρωστίας καλλιέργειας ροδάκινου και αχλαδιάς (Cui et al., 2008). Πείραμα που διενεργήθηκε σε καλλιέργεια φυστικιάς (Aydinsakir et al., 2016) απέδειξε πως η εφαρμογή υδατικού στρες κατά το στάδιο της βλαστικής φάσης της καλλιέργειας είχε σαν αποτέλεσμα τη συνολική αύξηση της βιομάζας, της παραγωγής σε καρπούς και της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει εντατικές έρευνες για την αξιολόγηση της επίδρασης των πρακτικών της ελλειμματικής άρδευσης σε αμπελώνες. Η εφαρμογή του υδατικού στρες πριν την ωρίμανση είχε σαν αποτέλεσμα τον έλεγχο της αύξησης των βλαστών και την αποφυγή συνθηκών υπερβολικής βλαστικής ζωνρότητας που επικρατούν σε συνθήκες πλήρους άρδευσης. Ακόμη μια συμβολή της εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης σε αμπέλια έχει να κάνει με τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του κρασιού (Chaves et al., 2007) όπως επίσης και με το μερικό έλεγχο των μυκητολογικών προσβολών (Schreiner et al., 2007).

Πειράματα έχουν γίνει και πάνω σε καλλιέργεια τομάτας. Η τομάτα είναι το πρώτο σε καλλιεργούμενη έκταση λαχανοκομικό είδος και αυτό κάνει σημαντική τη δυνατότητα εξοικονόμησης νερού για την καλλιέργειά της (Feres και Soriano, 2007). Από πειράματα εφαρμογής της ελλειμματικής άρδευσης πάνω σε καλλιέργεια τομάτας έχουν προκύψει διαφορετικά αποτελέσματα: ο Pulupul et al. (1996) παρατήρησε σημαντική μείωση της απόδοσης σε ξηρή βιομάζα για θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας, ενώ ο Zegbe-Domínguez et al. (2006) δεν παρατήρησαν ελάττωση της απόδοσης σε ποικιλίες που καλλιεργούνται για μεταποίηση. Ωστόσο αν και οι επιπτώσεις στην απόδοση μπορεί να είναι διαφορετικές, πολλές από τις μελέτες που έχουν γίνει έδειξαν ότι η ελλειμματική άρδευση εξοικονομεί μεγάλες ποσότητες νερού και αυξάνει την αποδοτικότητα χρήσης νερού (Savic et al., 2008).

Σε περιπτώσεις ευρύτερων περιοχών όπου παρουσιάζεται έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας, υπάρχει η δυνατότητα κάνοντας χρήση της ελλειμματικής άρδευσης να πραγματοποιηθεί καλύτερος αρδευτικός σχεδιασμός. Για παράδειγμα στη Νεμπράσκα των ΗΠΑ, όπου οι υδατικοί πόροι είναι περιορισμένοι, οι Payero et al. (2009) αρδεύοντας την καλλιέργεια μόνο με 150mm νερού κατά τους μήνες Ιούλιο έως Σεπτέμβριο, προσδιόρισαν την καλύτερη κατανομή του νερού για την επίτευξη της υψηλότερης αποδοτικότητας χρήσης νερού. Απέδειξαν ότι όταν το ποσοστό διάθεσης των 150mm αυξάνεται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, τότε η αποδοτικότητα χρήσης νερού μεγαλώνει.

Μια μορφή ελλειμματικής άρδευσης είναι και η Μερική Ξήρανση Ριζών (Partial Rootzone Drying). Η τεχνική αυτή έχει παρουσιάσει μέχρι και 50% εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού (Kang et al., 1998). Αρχή της PRD είναι η εναλλακτική άρδευση στις δυο πλευρές του ριζικού συστήματος των φυτών, με άλλα λόγια η βρεγμένη και η ξηρή πλευρά του ριζικού συστήματος να εναλλάσσονται σε ένα κύκλο 10-14 ημερών (Dry et al., 1996). Η συχνότητα εναλλαγής εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία και την εξάτμιση του νερού (Davies et al., 2000). Οι εναλλακτικοί κύκλοι των αρδεύσεων είναι ζωτικής σημασίας για την παραγωγή της καλλιέργειας, αλλά και τη διατήρηση των χημικών σημάτων χωρίς να επηρεάζεται η υδατική κατάσταση των φυτών (Loveys et al., 2000). Η τεχνική της PRD έχει δοκιμαστεί σε μια σειρά καλλιεργειών, όπως οι τομάτες (Savic et al., 2008), τα αμπέλια

(Chaves et al., 2007), τις πατάτες. Η πατάτα, ένα ευαίσθητο στην ξηρασία φυτό, παρουσίασε αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού έως και 47% σε σχέση με τη μεταχείριση ελέγχου (πλήρης άρδευση), με χρήση της PRD τεχνικής και κάλυψη του 50% της εξατμισοδιαπνοής (Saeed et al., 2008).

#### **4.6. Ελλειμματική άρδευση αραβόσιτου**

Έχουν γίνει διάφορες μελέτες για την αξιολόγηση της επίδρασης της ελλειμματικής άρδευσης στην καλλιέργεια του αραβόσιτου, ορισμένες από τις οποίες έχουν να κάνουν με εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης σε όλη την καλλιέργεια και άλλες σε ορισμένα μόνο στάδια αυτής. Τα αποτελέσματα σε γενικές γραμμές δείχνουν ότι ναι μεν οι μεγαλύτερες αποδόσεις παρατηρούνται κάτω από συνθήκες πλήρους άρδευσης, όταν όμως η ελλειμματική άρδευση εφαρμόζεται σωστά σε συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης, δίνει αποτελέσματα στατιστικώς μη σημαντικά.

Σε πείραμα οι Masoud και Manouchehr (2016) μελέτησαν την επίδραση της ελλειμματικής άρδευσης σε τρία διαφορετικά υβρίδια καλαμποκιού. Εφάρμοσαν άρδευση στο 60, 70 και 80% της υδατοϊκανότητας του εδάφους στα KSC500, KSC647, KSC700 και KSC704 υβρίδια. Η άρδευση των πειραματικών τεμαχίων γινόταν σε αυλάκια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση σε σπόρο, ο δείκτης συγκομιδής και η σχετική περιεκτικότητα σε νερό μειώθηκαν, ενώ η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού, η εξοικονόμηση νερού και η αποδοτικότητα της άρδευσης αυξήθηκαν με την αύξηση ελλείμματος νερού. Η άρδευση στο 70% της υδατοϊκανότητας του εδάφους έδωσε την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (1,01kg σπόρου/m<sup>3</sup>). Επιπλέον, τα υβρίδια όψιμης ωρίμανσης (KSC700 και KSC704) έδωσαν μεγαλύτερες τιμές σε όλα τα χαρακτηριστικά εκτός του δείκτη συγκομιδής σε σύγκριση με τα υβρίδια μέσης ωρίμανσης (KSC647 και KSC500).

Οι Aydinsakir et al. (2013) μελέτησαν την αντοχή δύο γενοτύπων καλαμποκιού (Şafak και Ant-i90) στην υδατική καταπόνηση. Οι δόσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν ήταν στο 100% της υδατοϊκανότητας (I100), στο 75% (I75), στο 50% (I50) και στο 25% (I25). Επίσης, υπήρχε μεταχείριση η οποία δεν αρδεύτηκε καθόλου (I<sub>0</sub>). Η τεχνική της άρδευσης που εφαρμόστηκε ήταν η στάγδην. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα διάφορα επίπεδα άρδευσης έχουν στατιστικώς σημαντικά διαφορές στην απόδοση, στο ύψος, στον αριθμό των κόκκων και στο βάρος 100 κόκκων, στην διάμετρο και στο μήκος των σπαδίκων. Δεν διαφέρουν όμως στον αριθμό των σπαδίκων. Και στους δύο γενότυπους η ελλειμματική άρδευση αύξησε τις περιεκτικότητες της γλυκόζης, της φρουκτόζης και της σακχαρόζης, ενώ μείωσε την περιεκτικότητα των πρωτεϊνών. Η μεγαλύτερη απόδοση σε σπόρο παρατηρήθηκε στον

γενότυπο Safak στην μεταχείριση (I100) (9,35t/ha) και ακολούθησαν οι μεταχειρίσεις (I75) (8,34t/ha), (I50) (7,89t/ha), (I25) (5,56t/ha) και (I0) (3,36t/ha). Στην μεταχείριση (I100) παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη χρήση νερού (738,1mm) για τον γενότυπο Safak ενώ η μικρότερη στην μεταχείριση (I0) για τον γενότυπο Ant-i90 (260,0mm). Η υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού βρέθηκε στην μεταχείριση (I50) (15,7kg/ha/mm) στον γενότυπο Safak και η χαμηλότερη στην μεταχείριση (I0) (5,5kg/ha/mm) στον γενότυπο Ant-i90.

Σε μια έρευνα που διεξήχθη στην Αιθιοπία οι Yenesew και Tilahun (2009) μελέτησαν την εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης σε διάφορα στάδια ανάπτυξης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεταβολή της ποσότητας εφαρμογής αρδευτικού νερού έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση του καρπού. Το μέσο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας είναι το πιο ευαίσθητο στην έλλειψη νερού. Από την άλλη μεριά, το έλλειμα νερού στην αρχή και στο τέλος της καλλιέργειας έχει περιορισμένη επίδραση στην απόδοση. Καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο η εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης (75% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας) επιφέρει μείωση της απόδοσης. Ωστόσο, η αποδοτικότητα της χρήσης νερού είναι υψηλότερη στην ελλειμματική άρδευση χωρίς όμως να επιφέρει σημαντικές μειώσεις στην απόδοση σύμφωνα και με την έρευνα του Zewdie (2007) που συμφωνεί με τα παραπάνω.

Μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Μαρόκο κατά τη διάρκεια δύο καλλιεργητικών περιόδων (2009 και 2010) από τους Bouazzamma et al. (2012) μελέτησε την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην ανάπτυξη του αραβόσιτου, την κατανάλωση του νερού και την απόδοση σε ξηρή βιομάζα. Οι δόσεις άρδευσης που εφαρμόστηκαν ήταν στο 100, 80, 60, 40 και 20% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ETc). Το σύστημα άρδευσης που εφαρμόστηκε ήταν με αυλάκια. Παρατηρήθηκε πως η ελλειμματική άρδευση επιταχύνει την γήρανση των φύλλων και μειώνει τον δείκτη φυλικής επιφάνειας. Οι μέγιστες τιμές αυτής της παραμέτρου επιτεύχθηκαν κατά την ανθοφορία με δόση άρδευσης 100% της ETc (5,1 το 2009 και 4,8 το 2010). Οι αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα κυμαινόταν από 5,3 t/ha με δόση άρδευσης 40% της ETc σε 16,4 t/ha με δόση άρδευσης 100% της ETc το 2009. Το 2010 οι αποδόσεις κυμάνθηκαν μεταξύ 3,9t/ha με δόση άρδευσης 20% της ETc και 12,5t/ha με δόση άρδευσης 100% της ETc.

Μια μελέτη άρδευσης με καταιονισμό στην Αμερική από τους Benjamin et al. (2015) ερευνήσε τις επιπτώσεις της εφαρμογής της ελλειμματικής άρδευσης για έξι συναπτά έτη (2001-2006) σε καλλιέργεια αραβοσίτου. Παρατηρήθηκε πως το 2001 η ελλειμματική άρδευση σε σύγκριση με την άρδευση στο 100% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας είχε την ίδια απόδοση σε σπόρο. Το 2002 παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης κατά 20% σε σχέση με την πλήρη άρδευση. Έως το 2006 η συνεχόμενη εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης, μείωσε την απόδοση κατά 65% συγκριτικά με την άρδευση στο 100%. Μέχρι το 2006 τα αποθέματα

του εδαφικού νερού σε βάθος 60-90cm παρέμειναν χαμηλότερα για την ελλειμματική άρδευση. Η αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού μειώθηκε στην ελλειμματική άρδευση όλα αυτά τα χρόνια. Ήταν ίδια όμως το 2001 αλλά μέχρι το 2006 παρατηρήθηκε μείωση κατά 65%. Συμπερασματικά, η ελλειμματική άρδευση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μικρό χρονικό διάστημα σε περιπτώσεις όπου δεν επαρκεί το αρδευτικό νερό για άρδευση στο 100% της εξατμισοδιαπνοής των φυτών, καθώς η μακροχρόνια χρήση της είναι επιζήμια τόσο στην παραγωγή όσο και στην αποδοτικότητα χρήσης νερού, εξαιτίας της μη αναπλήρωσης του αποθηκευμένου νερού του εδάφους κατά τη διάρκεια συνεχόμενης καλλιέργειας.

Στη Σερβία, η έλλειψη νερού κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου είναι σημαντικός παράγοντας στον περιορισμό της παραγωγής του αραβόσιτου. Ως εκ τούτου για να για να επιτευχθεί η ιδανική περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους, η βελτιστοποίηση της άρδευσης είναι ζωτικής σημασίας. Οι επιπτώσεις των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης σε σύστημα καταιονισμού μελετήθηκαν από τους Kresović et al. (2016) για τρία συναπτά έτη. Οι μεταχειρίσεις ήταν: άρδευση στο 100% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (I100), στο 75% (I75) και στο 50% (I50). Επίσης, υπήρχε μεταχείριση η οποία δεν αρδεύτηκε καθόλου (I0). Τα αποτελέσματα έδειξαν μια αύξηση της απόδοσης του καρπού στην μεταχείριση (I100) 47,8% σε σύγκριση με την (I0). Κατά 32,8% και 22,9% ήταν η αύξηση της απόδοσης του καρπού στις μεταχειρίσεις (I75) και (I50) αντίστοιχα σε σύγκριση με την (I0). Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού μεγιστοποιήθηκε στην μεταχείριση (I50) αλλά υψηλότερη ήταν στην μεταχείριση (I100). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η άρδευση είναι απαραίτητη για την καλλιέργεια του αραβόσιτου καθώς οι βροχοπτώσεις είναι ανεπαρκείς για να καλύψουν τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό στη Σερβία. Επιπλέον, η μελέτη έδειξε ότι η εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης στο 75% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας θα μπορούσε να εξασφαλίσει ικανοποιητική απόδοση καρπού και αύξηση της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού.

Σε μια οικονομική έρευνα του Πανεπιστημίου της Νεμπράσκα (Rudnick et al., 2016) μελετήθηκε η εφαρμογή διαφορετικών δόσεων αζωτούχου λιπάσματος και ελλειμματικής άρδευσης. Στις μεταχειρίσεις εφαρμόστηκαν 0, 84, 140, 196 και 252 kg/ha αζωτούχου λιπάσματος υπό πλήρη άρδευση (100% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι λαμβάνοντας υπόψιν την παραγωγικότητα της καλλιέργειας, την αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού και του επιμέρους παράγοντα της παραγωγικότητας της αζωτούχας λιπάνσεως, η άρδευση στο 100% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας συνιστάται υπό συνθήκες περίσσειας αρδευτικού νερού. Η άρδευση στο 75% της εξατμισοδιαπνοής εφαρμόζεται αποτελεσματικά με υψηλό οικονομικό αντάλλαγμα σε



περιπτώσεις έλλειψης αρδευτικού νερού και με εφαρμογή αζωτούχας λιπάνσεως που δεν υπερβαίνει τα 196 kg/ha.

Σε μια μελέτη ελλειμματικής στάγδην άρδευσης στην Κίνα, οι Liu et al. (2017) εφάρμοσαν σε καλλιέργεια αραβοσίτου δόσεις άρδευσης στο 20, 40, 60, 80, 100 και 120% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, τα έτη 2013 και 2014. Παρατήρησαν πως οι παράγοντες αύξησης, ανάπτυξης αλλά και απόδοσης της καλλιέργειας μειώθηκαν σημαντικά κατά την εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης από 40% και κάτω της εξατμισοδιαπνοής σε σύγκριση με την εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης στο 80-120%, αλλά δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά στις μεταχειρίσεις 80% και 120%. Η υψηλότερη απόδοση του καρπού βρέθηκε στην μεταχείριση 100% και μειώθηκε στις άλλες μεταχειρίσεις λόγω της μείωσης του μεγέθους του σπάδικα και του βάρους των 100 κόκκων. Η υψηλότερη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού βρέθηκε στο 60% ενώ μειωνόταν καθώς αυξανόταν η δόση άρδευσης. Η εφαρμογή δόσης άρδευσης στο 100% της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας συνιστάται με στόχο την υψηλότερη απόδοση όταν οι υδάτινοι πόροι μπορούν να ικανοποιήσουν την ζήτηση του νερού άρδευσης. Η εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης όμως στο 20-30% της εξατμισοδιαπνοής συνιστάται με στόχο την υψηλότερη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού με μικρή απώλεια απόδοσης καρπού της τάξης του 4-8%.

Σε πείραμα που διεξήχθη στην Τουρκία τα έτη 1998 και 1999 ο Oktem (2008) μελέτησε την επίδραση της ελλειμματικής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια γλυκού αραβόσιτου. Οι δόσεις που εφαρμόστηκαν ήταν στο 100, 90, 80 και 70% της εξάτμισης του εξατμισιμέτρου τύπου A. Το ύψος των φυτών, το μήκος του σπάδικα, ο αριθμός των κόκκων και το χλωρό βάρος του σπάδικα ήταν υψηλότερα στην μεταχείριση 100%, ενώ οι χαμηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν στο 70% και τις δύο χρονιές. Η εξοικονόμηση νερού ήταν μεγαλύτερη στην μεταχείριση 70% και τις δύο χρονιές. Οι υψηλότερες αποδόσεις χλωρού σπάδικα παρατηρήθηκαν στο 100% της εξάτμισης, ενώ οι μικρότερες στο 70% της εξάτμισης. Ο αριθμός των εμπορεύσιμων χλωρών σπαδικών στην μεταχείριση 90% είναι υψηλός και αποδεκτός για την καλλιέργεια γλυκού αραβόσιτου.

Οι Karasu et al. (2015) εφάρμοσαν στάγδην ελλειμματική άρδευση σε καλλιέργεια αραβοσίτου (ποικιλίας Ada-523). Οι μεταχειρίσεις ήταν οι εξής: πλήρης άρδευση (στο 100% της εξάτμισης του εξατμισιμέτρου (Epan)) – (FI), υπεράρδευση (στο 125% της Epan) – (E1), ελλειμματική άρδευση σε διάφορα επίπεδα (στο 75%, 50%, και 25% της Epan) – (DI-75, DI-50 και DI-25 αντίστοιχα) και καθόλου άρδευση (NI). Παρατήρησαν πως το ύψος των φυτών, η διάμετρος των βλαστών, ο αριθμός των καρπών ανά φυτό μειωνόταν όσο εφαρμοζόταν και μικρότερες δόσεις άρδευσης. Οι υψηλότερες αποδόσεις σε βιομάζα παρατηρήθηκαν στις μεταχειρίσεις E1, F1 και DI-75. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πλήρης άρδευση είναι

προτιμότερη για υψηλότερες αποδόσεις βιομάζας και καθαρά κέρδη. Ωστόσο, σε περιοχές με λειψυδρία με την εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης (DI-75, DI-50 και DI-25) επιτυγχάνεται μια οικονομικά βιώσιμη παραγωγή. Η βέλτιστη εναλλακτική λύση αντί της πλήρους άρδευσης είναι η άρδευση στο 75% της εξάτμισης του εξατμισιμέτρου διότι επιτυγχάνεται 25% εξοικονόμηση αρδευτικού νερού, αύξηση βιομάζας κατά 16% και αποδεκτά καθαρά έσοδα με μικρή απώλεια απόδοσης βιομάζας (στο 7% οι απώλειες) σε σύγκριση με την πλήρη άρδευση.

Σε ένα πείραμα όμως οι Baber et al. (2015) όπου εφάρμοσαν ελλειμματική άρδευση σε διάφορα στάδια ανάπτυξης σε καλλιέργεια αραβοσίτου παρατηρήσαν πως η απόδοση μεταβάλλεται στατιστικώς σημαντικά κάτω από διαφορετικό προγραμματισμό άρδευσης. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή τριών αρδεύσεων (20, 40 και 60 ημέρες μετά την σπορά) δίνει καλύτερα αποτελέσματα στο ύψος των φυτών, στον αριθμό των φύλλων, στο πλάτος των βλαστών και στην απόδοση του σπόρου. Σε αντίθεση με την εφαρμογή τεσσάρων αρδεύσεων (20, 35, 50 και 65 ημέρες μετά την σπορά) η οποία δίνει μόνο καλύτερη βλάστηση των σπόρων του αραβόσιτου.

Οι Abedinpour και Sarangi (2013) επίσης μελέτησαν την εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης και αζωτούχας λίπανσης στον αραβόσιτο. Βρήκαν πως η μέγιστη απόδοση καρπού παρατηρείται στην πλήρη άρδευση (όταν η υγρασία του εδάφους στο ριζόστρωμα της καλλιέργειας πλησιάζει το 50% του διαθέσιμου νερού γίνεται επαναπλήρωση της υγρασίας του εδάφους μέχρι την υδατοϊκανότητα) και με την εφαρμογή 150 kg N/ha.

Σε μια έρευνα των Opsi et al. (2013) στην Ιταλία το 2008, δύο ποικιλίες αραβόσιτου, μία πρώιμης ωρίμανσης Cisco (FAO300) και μία ώψιμης Arma (FAO700) σπάρθηκαν σε τρεις διαφορετικές ημερομηνίες (Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος) και συγκομίστηκαν σε δύο στάδια ωριμότητας. Η ποικιλία και η ημερομηνία σποράς επηρέασε τις αποδόσεις ξηρής βιομάζας (40% υψηλότερη απόδοση η ποικιλία Arma από τη Cisco), οι οποίες μειωνόταν με το πέραςμα των ημερών σποράς.

Σύμφωνα με μια έρευνα των Araya et al. (2017) η αμειψισπορά βελτιώνει την παραγωγικότητα του νερού στο καλαμπόκι. Η εφαρμογή αμειψισποράς σε ελλειμματική άρδευση δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις, αυξάνει την παραγωγικότητα του νερού και την αποδοτικότητα της χρήσης του αρδευτικού νερού σε σύγκριση με τη συνεχή καλλιέργεια καλαμποκιού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Υλικά και Μέθοδοι

#### 5.1. Γενικά

Το πειραματικό μέρος της παρούσας έρευνας διεξήχθη στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο, κατά την καλλιεργητική περίοδο του 2014.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και στις μεθόδους που ακολουθήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων.

#### 5.2. Τοποθεσία πειραματικού αγρού

Στην περιοχή του Βελεστίνου και συγκεκριμένα στη συμβολή της παλαιάς Εθνικής οδού Λάρισας-Βόλου και της εισόδου στο Βελεστίνο, βρίσκεται το αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Π.Θ.), όπως φαίνεται με γαλάζιο χρώμα στην Εικόνα 5.1 και το οποίο αποτελείται από τεμάχια συνολικής έκτασης 150 στρεμμάτων.



**Εικόνα 5.1.** Δορυφορική άποψη του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Ο πειραματικός αγρός στον οποίο διεξήχθη το πείραμα βρίσκεται στο κεντρικό και μεγαλύτερο τμήμα του αγροκτήματος.



**Εικόνα 5.2.** Δορυφορική άποψη των πειραματικών τεμαχίων στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Η συνολική έκταση του πειράματος ήταν 360m<sup>2</sup>. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του πειραματικού αγρού είναι 39°23'38.00"N (γεωγραφικό πλάτος) και 22°45'23.00"E (γεωγραφικό μήκος), ενώ το υψόμετρο της περιοχής είναι 80 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

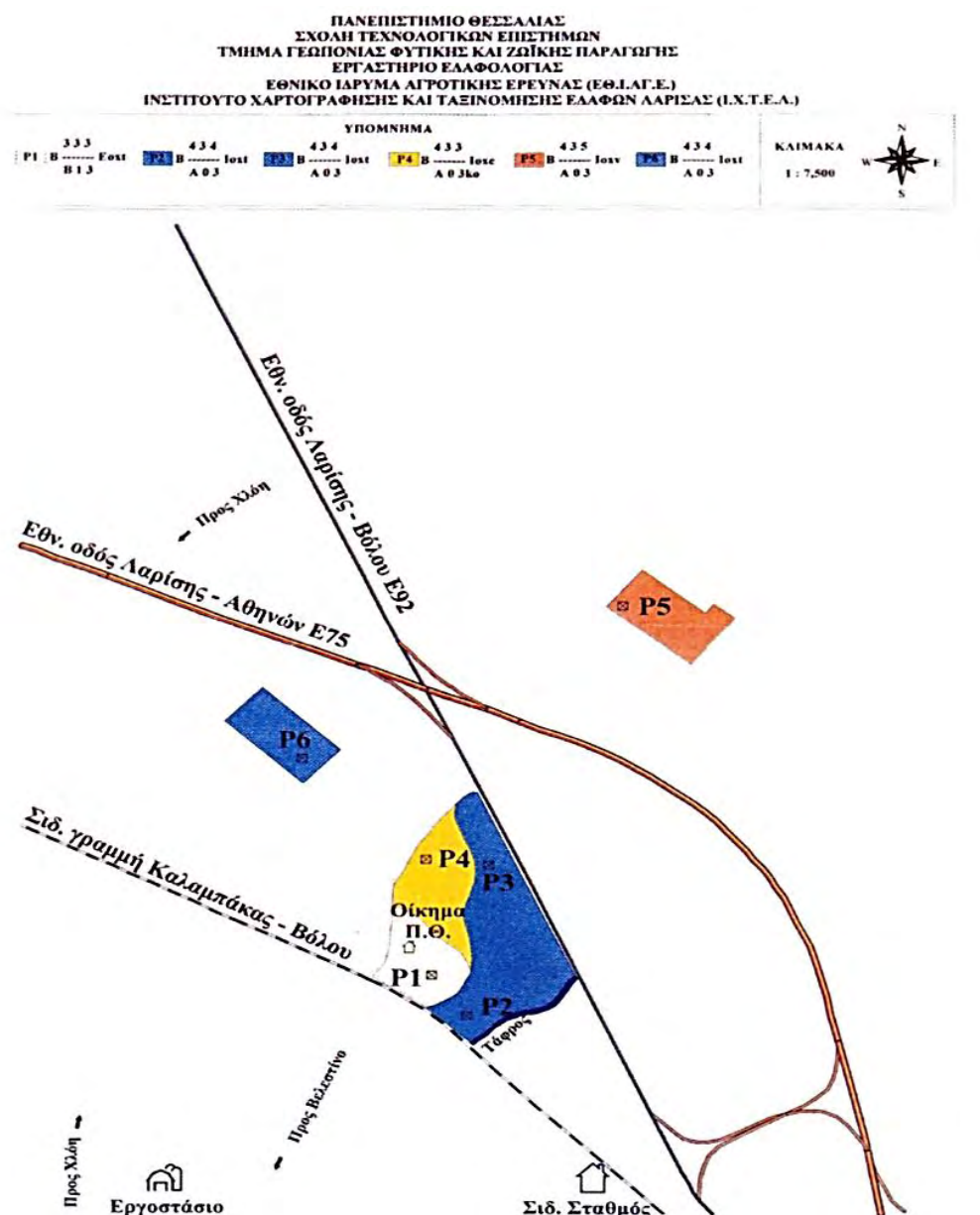
Στην περιοχή επικρατεί τυπικό Μεσογειακό κλίμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από ζεστά - ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς - υγρούς χειμώνες.



### 5.3. Έδαφος του πειραματικού αγρού

#### 5.3.1. Εδαφολογικά χαρακτηριστικά

Ολόκληρη η έκταση του αγροκτήματος βρίσκεται σε μια ενιαία γεωμορφή, της οποίας τα εδάφη συνίστανται κυρίως από τις αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης της πρώην αποξηραμένης λίμνης Βοιβηίδας (Κάρλας). Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της εδαφοτομής P<sub>2</sub> (Μήτσιος, 2000), όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3. Χάρτης οριοθέτησης των εδαφοτομών του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Μήτσιος, 2000).

Η εδαφοτομή P<sub>2</sub> αντιπροσωπεύει τη μισή περίπου έκταση του κεντρικού τμήματος του αγροκτήματος και εκτείνεται στα ανατολικά του μικρού λοφίσκου (εδαφοτομή P<sub>1</sub>). Τα εδάφη της εδαφοτομής P<sub>2</sub> ταξινομούνται στην υποομάδα των Typic Xerochrept των Inceptisols, αφού παρατηρείται έναρξη διαδικασίας εδαφογένεσης με το σχηματισμό «καμβικού» ορίζοντα και την εμφάνιση «ωχρού» επιπέδου υπεράνω του διαγνωστικού ορίζοντα και στην περιοχή επικρατούν συνθήκες εδαφικής υγρασίας xeric και εδαφικής θερμοκρασίας thermic (Μήτσιος, 2000).

Τα τυπικά χαρακτηριστικά που μπορεί να έχουν τα εδάφη αυτά σύμφωνα με το Μήτσιο (2000), είναι:

- Mesic ή θερμότερο καθεστώς εδαφικής θερμοκρασίας.
- Ένα ουμβρικό (umbric) ή μολικό (mollic) επίπεδο πάχους 25cm ή μικρότερο.
- Xeric καθεστώς εδαφικής υγρασίας.
- Διαφορά θερμοκρασίας 5°C ή μεγαλύτερη μεταξύ θέρους και χειμώνα σε βάθος 50 cm από την επιφάνεια.
- Φαινομενική πυκνότητα εδάφους σε υγρασία 1/3bar μεγαλύτερη από 0,5gr/cm.
- Σύμπλοκο ανταλλαγής κατιόντων χωρίς άμορφα και ηφαιστειογενή υλικά.
- Μεγάλη καθαρότητα χρώματος.
- Δεν έχουν plaggen επίπεδο.
- Δεν έχουν fragipan ή duripan ορίζοντα.

Σύμφωνα με την εδαφολογική μελέτη του Μήτσιου (2000) τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εδαφοτομής P<sub>2</sub> είναι τα παρακάτω:

- Τα εδάφη αυτά έχουν υφή αμμοαργιλοπηλώδη έως αργιλώδη και κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη έως λεπτόκοκκη.
- Η κατάσταση υδρομορφίας είναι καλή και εκφράζεται με Β βαθμό αποστράγγισης και βελτιώνεται με το βάθος του εδάφους εξαιτίας της πετρώδους σύστασής του.
- Τα ανθρακικά άλατα υπάρχουν στην εδαφοτομή και σε επίπεδα μετρίως χαμηλά (5%) και δείχνουν μια σαφή τάση μετακίνησης και έκπλυσης προς τα βαθύτερα στρώματα αυτής.
- Ο βαθμός οξύτητας (pH) βρίσκεται σε αλκαλικά επίπεδα (7,9-8,2).
- Το πορώδες είναι καλά αναπτυγμένο αποτελούμενο κυρίως από μικρού και μέσου μεγέθους πόρους.
- Ο διαθέσιμος φώσφορος είναι 20ppm σε βάθος εδάφους 0-34cm.

- Η οργανική ουσία με τιμές μικρότερες του 1,1% βρίσκεται σε επίπεδα κάτω από το μέσο όρο των Ελληνικών εδαφών (1,5%) και μειώνεται με το βάθος (1,1%-0,3%).
- Τα ανταλλάξιμα ιόντα Na, Mg, K και η Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (C.E.C.) γενικά βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι φυσικές (Πίνακας 5.1) και οι χημικές (Πίνακας 5.2) ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P<sub>2</sub> αναλυτικά.

**Πίνακας 5.1.** Φυσικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P<sub>2</sub> (Μήτσιος, 2000).

<b>Τάξη:</b> Inceptisol <b>Υποομάδα:</b> Typic xerochrept			<b>Χαρτ. Μονάδα:</b> $B \frac{43*4}{A03} I_{ox}$					
Βάθος (cm)	Ορίζοντας	Χρώμα (ύφυγρο)	Κοκκομετρική Σύσταση (%)			Υφή	Λομή	Όριο Οριζόντων
			S	Si	C			
0-34	Ap	10YR 4/6	25	38	37	CL	3m sbk	A
34-62	BA	10YR 3/4	30	29	41	C	1f sbk	G
62-96	Bw	10YR 3/3	35	28	37	CL	2f sbk	G
96-114	BC	10YR 4/4	47	22	31	SCL	2f sbk	C
114-154	C	7,5YR 4/4	56	17	27	SCL	1f sbk	

**Πίνακας 5.2.** Χημικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P<sub>2</sub> (Μήτσιος, 2000).

Βάθος (cm)	Οργανική Ουσία (gr/100gr)	CaCO <sub>3</sub> (%)	pH (1:1)	P Olsen (ppm)	Ανταλλάξιμα κατιόντα (meq/100gr)				ΙΑΚ (meq/100gr)
					K	Na	Ca	Mg	
0-34	1,10	5,0	7,9	20	0,27	0,07	25,5	6,16	32,0
34-62	1,07	14,5	8,1	9	0,38	0,15	23,73	8,54	32,8
62-96	0,70	10,7	8,2	12	0,26	0,32	23,64	7,78	32,0
96-114	0,50	5,0	8,2	9	0,29	0,36	19,45	6,70	26,8
114-154	0,13	4,6	8,0	12	0,29	0,25	17,17	5,49	23,2

## **5.4. Καλλιεργητικές εργασίες**

### **5.4.1. Προετοιμασία του εδάφους**

Η σωστή προετοιμασία του εδάφους είναι απαραίτητη για την καταπολέμηση των ζιζανίων, την διατήρηση της υγρασίας του εδάφους και την διασφάλιση της καλής βλάστησης των σπόρων στα βαριά εδάφη. Σύμφωνα με τον Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (Κ.Ο.Γ.Π.), που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 142Β'/2004, η κατεργασία του εδάφους πρέπει να περιορίζεται, όσο είναι δυνατόν, στις απαραίτητες επεμβάσεις.

Σε όλα τα πειραματικά τεμάχια, το φθινόπωρο του 2014, πραγματοποιήθηκε αναμόχλευση του εδάφους με βαρύ καλλιεργητή ώστε να μειωθεί η συνεκτικότητά του και να βελτιωθεί η διείσδυση των ριζών σε αυτό.

Το φθινόπωρο κάθε χρονιάς, έπειτα από τη συγκομιδή της καλλιέργειας της προηγούμενης καλλιεργητικής περιόδου, τα στελέχη της καλλιέργειας καταστρέφονταν με στελεχοκοπτικό μηχάνημα και τα υπολείμματα ενσωματωνόταν στο έδαφος μέσω της αναμόχλευσης του εδάφους που ακολουθούσε με ελαφρύ καλλιεργητή. Στη συνέχεια, στις αρχές της άνοιξης κάθε έτους, πραγματοποιούνταν σκαφή του εδάφους με περιστρεφόμενο σκαπτικό (φρέζα), τύπου Terra Rotavator TM 186, για τον θρυμματισμό της επιφάνειας του εδάφους και την καταστροφή των ανοιξιότικων ζιζανίων. Τέλος, για την διαμόρφωση της σποροκλίνης γινόταν κατεργασία με σβολοκοπτικό μηχάνημα.

Μετά την κατεργασία του εδάφους πραγματοποιούνταν χάραξη των πειραματικών τεμαχίων.

### **5.4.2. Σπορά της καλλιέργειας**

Η σπορά του αραβόσιτου την καλλιεργητική περίοδο του 2014 πραγματοποιήθηκε στις 17 Ιουνίου με τετράσειρη πνευματική σπαρτική μηχανή ακριβείας (Gaspardo 520), η οποία φαίνεται στην Εικόνα 5.3.





**Εικόνα 5.3.** Η πνευματική σπαρτική μηχανή.

#### **5.4.2.1. Ποικιλία σπόρου αραβόσιτου**

Η ποικιλία του αραβόσιτου, που επιλέχθηκε, έχει την εμπορική ονομασία NK Cisko και έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία Syngenta. Η συγκεκριμένη ποικιλία είναι ένα υβρίδιο μικρής διάρκειας βιολογικού κύκλου (102 ημερών) (με δείκτη FAO 400) που σπέρνεται στους 16-17 πόντους. Ο σπόρος του ήταν επενδεδυμένος με πυρεθρινοειδές εντομοκτόνο, Force 20 CS, για την καταπολέμηση εντόμων εδάφους και με φαινυλαμιδικό μυκητοκτόνο, Influx XL, για την καταπολέμηση της τήξης των φυταρίων που προκαλούνται από τους μύκητες του γένους *Pythium* και *Fusarium*. Πρόκειται για ένα πολύ σταθερό υβρίδιο με μεγάλη προσαρμοστικότητα και υψηλές επιδόσεις. Έχει άριστο φύτρωμα και γρήγορη ανάπτυξη. Σε πρώιμες σπορές, δίνει μεγάλες παραγωγές που ξεπερνούν το δυναμικό της κατηγορίας του. Υψηλό δυναμικό παραγωγής έχει όμως και σαν επίσπορη καλλιέργεια. Οι σπάδικες που δημιουργεί έχουν μεγάλου μεγέθους σπυρί (κόκκο), υψηλού ειδικού βάρους. Αλωνίζεται εύκολα και αποδίδει σοδειά ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών (Syngenta, 2017).

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.3) παρουσιάζονται τα αγρονομικά χαρακτηριστικά του υβριδίου καθώς και η συμπεριφορά του σε διάφορες συνθήκες, η προσαρμοστικότητά του αλλά και οι χρήσεις του.

Πίνακας 5.3. Χαρακτηριστικά του υβριδίου NK Cisko.

Αγρονομικά Χαρακτηριστικά Υβριδίου NK Cisko				
Κύκλος σε μέρες	Φύτρωμα	Πρώτη ανάπτυξη	Στέλεχος	Stay Green
102	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
Αριθμός σειρών σπάδικα	Ταχύτητα ξήρανσης σπάδικα	Ομοιομορφία μεγέθους σπάδικα	Ομοιομορφία ύψους σπάδικα	
16	<div></div>	<div></div>	<div></div>	
Συμπεριφορά – Προσαρμοστικότητα – Χρήσεις				
Αντοχές				
Πυκνότητα σποράς	Αντοχή ρίζας σε πλάγιασμα	Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες	Ελλειμματική άρδευση	Ανεκτικότητα σε πυραλίδα και σεξάμια
16-17	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
Εδάφη			Χρήσεις	
Ελαφρά	Μεσαία	Βαριά	Καρπός	Ενσίρωση
<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>

Πολύ καλό Καλό Αποδεκτό

● Πολύ καλό    ● Καλό    ○ Αποδεκτό

Πηγή: Syngenta, 2017.

#### 5.4.3. Πειραματικός σχεδιασμός

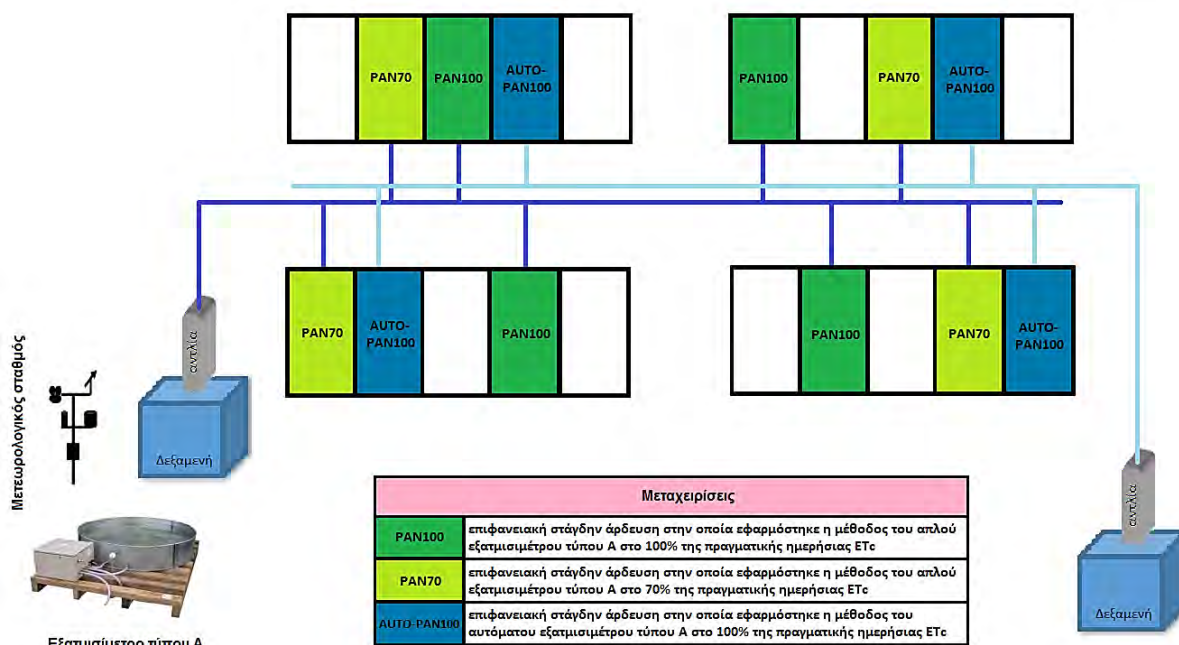
Η σωστή σχεδίαση ενός πειράματος αποτελεί τη βάση για την διεξαγωγή σωστών συμπερασμάτων (Montgomery, 2012).

Έτσι, το πειραματικό σχέδιο, που επιλέχθηκε για το συγκεκριμένο πείραμα, ήταν πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων (RCBD), με τρεις μεταχειρίσεις σε τέσσερις επαναλήψεις, όπως αυτές φαίνονται αναλυτικά παρακάτω. Δύο διαφορετικές μέθοδοι άρδευσης εφαρμόστηκαν με κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό στο 100% και στο 70% της πραγματικής ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ETc). Οι μέθοδοι άρδευσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το απλό και το πλήρως αυτοματοποιημένο εξατμισόμετρο τύπου A.

Οι μεταχειρίσεις που εφαρμόστηκαν ήταν:

- επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος του απλού εξατμισιμέτρου τύπου A στο 100% της πραγματικής ημερήσιας ETc (PAN100)
- επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος του απλού εξατμισιμέτρου τύπου A στο 70% της πραγματικής ημερήσιας ETc (PAN70)
- επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος του αυτόματου εξατμισιμέτρου τύπου A στο 100% της πραγματικής ημερήσιας ETc (AUTO-PAN100).

Η τυχαιοποίηση όλων των πειραματικών τεμαχίων έγινε με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος Minitab v.16 (Minitab Inc., State College, PA). Η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων στον αγρό φαίνεται στο Σχήμα 5.4.

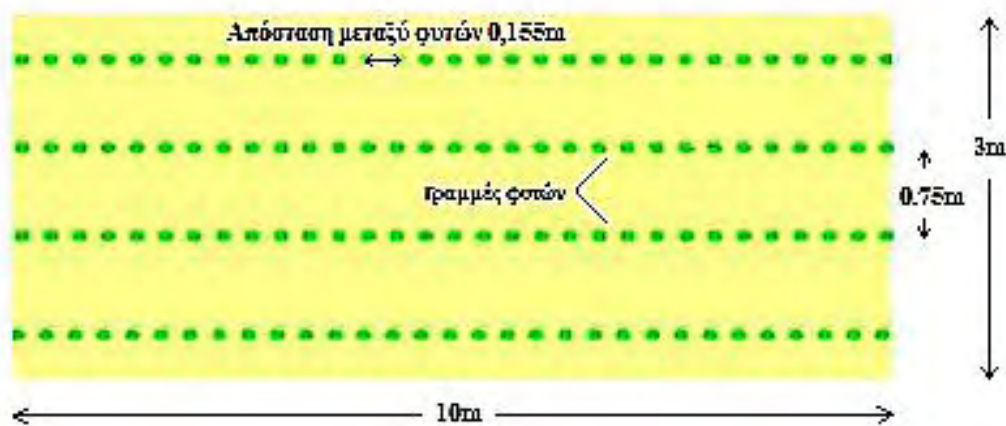


Σχήμα 5.4. Διάταξη των πειραματικών τεμαχίων στον αγρό.

#### 5.4.4. Εγκατάσταση καλλιέργειας και διάταξη πειραματικών τεμαχίων

Ο σπόρος τοποθετήθηκε σε βάθος 2,5cm και σε απόσταση 15,5cm επί της γραμμής, ενώ η απόσταση ανάμεσα στις γραμμές σποράς ήταν 75cm (πυκνότητα σποράς περίπου 8580 φυτά/στρ.).

Το κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε μήκος 10m και πλάτος 3m, οπότε το εμβαδόν του ήταν 30m<sup>2</sup>. Δύο διάδρομοι υπήρχαν στον πειραματικό αγρό όπως φαίνονται στο Σχήμα 5.5. Το κάθε τεμάχιο είχε 4 σειρές φυτών. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η διάταξη του κάθε πειραματικού τεμαχίου στον αγρό.



Σχήμα 5.5. Διάταξη του κάθε πειραματικού τεμαχίου στον αγρό.

#### 5.4.5. Έλεγχος ζιζανίων

Μετά τη σπορά πραγματοποιήθηκε χημική ζιζανιοκτονία προφυτρωτικά, με εφαρμογή της ζιζανιοκτόνου ουσίας Pendimethalin (STOMP 330 EC) με δόση 400cc σκευάσματος/στρ.. Μέχρι όμως τα φυτά να φτάσουν περίπου στο ύψος των 50 cm, πραγματοποιήθηκαν ένα με δυο σκαλίσματα (με το χέρι) για την απομάκρυνση των ζιζανίων.



Εικόνα 5.4. Το ψεκαστικό μηχάνημα με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι ζιζανιοκτονίες.

#### 5.4.6. Λίπανση

Στα πλαίσια της νέας αειφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών δεν πραγματοποιήθηκε κανενός είδους λιπαντική αγωγή ή άλλου είδους προσθήκη θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος των πειραματικών τεμαχίων.



## 5.5. Άρδευση

### 5.5.1. Επιφανειακή άρδευση με καταιονισμό

Μετά τη σπορά, πραγματοποιούνταν άρδευση με καταιονισμό, για τη διευκόλυνση του φυτρώματος. Η άρδευση γινόταν με υψηλής πίεσης περιστρεφόμενο καταιονιστήρα ενός ακροφυσίου ή αλλιώς κανόνι τεχνητής βροχής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.5, η τοποθέτηση του οποίου έγινε σε σημείο πλησίον των πειραματικών τεμαχίων. Είχε διάμετρο διαβροχής 80m, παροχή  $34\text{m}^3/\text{h}$  σε πίεση λειτουργίας 4,5atm και ωριαίο ύψος βροχής 18mm/h. Το δίκτυο μεταφοράς αποτελούνταν από σωλήνες αλουμινίου διαμέτρου 76mm (3 ιντσών).

Το αντλητικό συγκρότημα αποτελούνταν από γεώτρηση (Εικόνα 5.7) με υποβρύχια αντλία και αγωγό 101mm (4 ιντσών) παροχής  $35\text{m}^3/\text{h}$ .

Οι αρδεύσεις με καταιονισμό διήρκησαν μέχρι το φύτρωμα του σπόρου. Ο αριθμός των αρδεύσεων αυτών καθοριζόταν από τις κλιματικές συνθήκες και ιδιαίτερα από τις βροχοπτώσεις που επικρατούσαν.



**Εικόνα 5.5.** Ο υψηλής πίεσης περιστρεφόμενος καταιονιστήρας.



**Εικόνα 5.6.** Η γεώτρηση στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου.

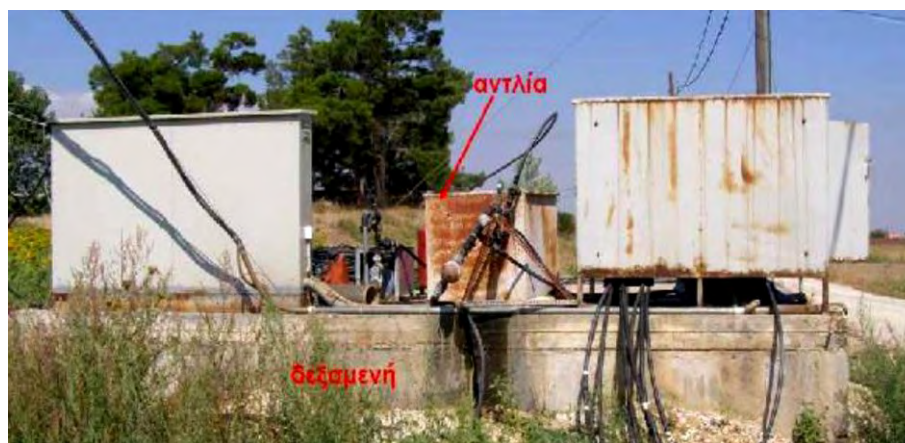
### **5.5.2. Επιφανειακή στάγδην άρδευση**

Η εγκατάσταση του συστήματος επιφανειακής στάγδην άρδευσης έγινε αμέσως μετά το φύτευμα του σπόρου, δηλαδή στις 22 Ιουνίου του 2014. Το σύστημα άρδευσης αποτελούνταν από το αντλητικό συγκρότημα, τη μονάδα ελέγχου, το δίκτυο μεταφοράς και το δίκτυο εφαρμογής.

#### **5.5.2.1. Διάταξη του δικτύου άρδευσης για τη μέθοδο του απλού εξατμισιμέτρου**

##### **5.5.2.1.1. Αντλητικό συγκρότημα**

Το αντλητικό συγκρότημα που χρησιμοποιήθηκε στις μεταχειρίσεις του απλού εξατμισιμέτρου τύπου Α, αποτελούνταν από επιφανειακή φυγόκεντρη αντλία νερού που ήταν προσαρμοσμένη σε ηλεκτροκινητήρα ισχύος 3Hp και είχε δυνατότητα άντλησης νερού από βάθος 3m και διατήρησης της πίεσης στο σύστημα στις 3atm. Μέσω ενός πιεστικού δοχείου και ενός αγωγού μεταφοράς από πολυαιθυλένιο (διατομής 32mm) το νερό έφτανε στην κεφαλή του συστήματος. Η αντλία ήταν εγκατεστημένη στην κορυφή δεξαμενής, συνολικής χωρητικότητας 50m<sup>3</sup>, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.7. Η πλήρωση της δεξαμενής πραγματοποιούνταν από την παρακείμενη γεώτρηση.



Εικόνα 5.7. Το αντλητικό συγκρότημα.

#### 5.5.2.1.2. Μονάδα ελέγχου

Η μονάδα ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε στις μεταχειρίσεις (Εικόνα 5.8) που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, αποτελούνταν από μετρητή ροής (υδρόμετρο) για τον έλεγχο της συνολικής ποσότητας του νερού, ένα ειδικό μανόμετρο, ένα φίλτρο σίτας για τη συγκράτηση σωματιδίων, τον προγραμματιστή άρδευσης και τις ηλεκτροβαλβίδες ή αλλιώς ηλεκτροβάνες (valves). Οι ηλεκτροβάνες (Εικόνα 5.9) ήταν της εταιρείας Netafim που εδρεύει στο Ισραήλ και είχαν ονομαστική τάση λειτουργίας τα 9V συνεχούς ρεύματος. Κάθε μία από τις ηλεκτροβάνες ελεγχόταν από προγραμματιστή άρδευσης και συνδεόταν με τον κύριο αγωγό μεταφοράς κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελέγχει την έναρξη και τη λήξη της άρδευσης στα πειραματικά τεμάχια των μεταχειρίσεων που δέχονταν την ίδια δόση άρδευσης. Για την άρδευση κάθε μεταχείρισης υπήρχε και από μία ηλεκτροβάνη με μια συγκεκριμένη δόση άρδευσης σε 4 πειραματικά τεμάχια.



Εικόνα 5.8. Μονάδα ελέγχου.





**Εικόνα 5.9.** Ηλεκτροβάνες.

Ο προγραμματιστής άρδευσης έθετε σε λειτουργία το αντλητικό συγκρότημα και ρύθμιζε τη λειτουργία της κάθε ηλεκτροβάνας. Ήταν της εταιρείας Netafim, με το εμπορικό όνομα Miracle DC (Εικόνα 5.10). Είχε ονομαστική τάση λειτουργίας τα 9V συνεχούς ρεύματος. Είχε τη δυνατότητα να ενεργοποιήσει 6, 9 ή 12 ηλεκτροβάνες (ανάλογα με τον τύπο του προγραμματιστή) αυτόματα ή χειροκίνητα όταν αυτό απαιτούνταν. Επειδή διέθετε 3 ανεξάρτητα προγράμματα, είχε την ικανότητα να μοιράζει τις ηλεκτροβάνες σε 3 διαφορετικές ομάδες, με ανεξάρτητες ημέρες και ώρες ποτίσματος. Η ρύθμιση γινόταν εύκολα με περιστροφικό διακόπτη και πλήκτρα επιλογών, με άμεση ένδειξη των επιλογών σε οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD). Παρείχε τη δυνατότητα καθορισμού της ημερομηνίας και ώρας έναρξης της άρδευσης για κάθε ηλεκτροβάνα καθώς και τη διάρκεια της άρδευσης. Επιπλέον, παρείχε τη δυνατότητα εβδομαδιαίου προγραμματισμού των αρδεύσεων και πρόσφερε 4 επαναλήψεις του προγράμματος μέσα σε ένα 24ωρο. Είχε την δυνατότητα συνεχούς άρδευσης για 9h και 59min για την κάθε ηλεκτροβάνα και την κάθε επανάληψη. Μπορούσε να αυξήσει ή να μειώσει τις δόσεις άρδευσης σε βήματα του 10%, χωρίς να απαιτείται επαναπρογραμματισμός και να καθυστερήσει την άρδευση έως και 99 ημέρες. Παρείχε τη δυνατότητα ανεξάρτητης ακύρωσης ενός ή περισσότερων προγραμμάτων με την αυτόματη επιστροφή στο αρχικό πρόγραμμα. Σε περιπτώσεις βλαβών προσπερνούσε την προβληματική στάση και συνέχιζε την άρδευση στην επόμενη χωρίς να διακόψει την λειτουργία της κεντρικής ηλεκτροβάνας. Διέθετε πρόγραμμα ασφαλείας 10min για την κάθε ημέρα. Τέλος, παρείχε την δυνατότητα υποστήριξης αισθητήρα βροχής.





Εικόνα 5.10. Ο προγραμματιστής άρδευσης Miracle DC.

#### 5.5.2.1.3. Δίκτυο μεταφοράς

Το δίκτυο μεταφοράς αποτελούνταν από τον κύριο αγωγό μεταφοράς και τους αγωγούς τροφοδοσίας, ονομαστικής εξωτερικής διαμέτρου 32mm και 25mm, αντίστοιχα. Οι αγωγοί ήταν της εταιρείας Palaplast που εδρεύει στην Ελλάδα, ήταν κατασκευασμένοι από χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE) και η ανώτατη πίεση λειτουργίας τους ήταν 6atm.

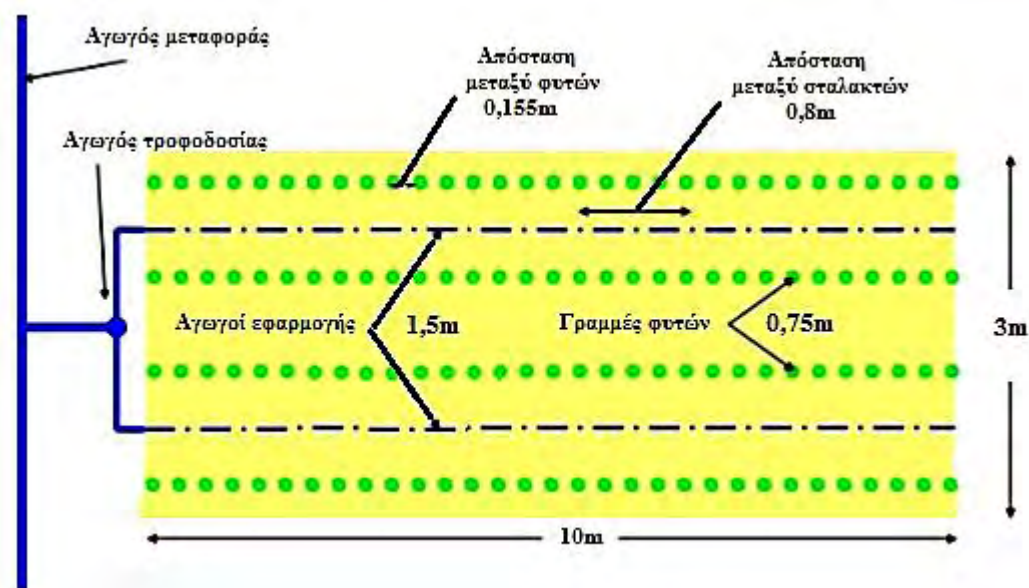
Ο κύριος αγωγός εξυπηρετούσε στην μεταφορά του νερού από τη δεξαμενή έως την υδροληψία των πειραματικών τεμαχίων τροφοδοτώντας 8 δευτερεύοντες αγωγούς. Σε κάθε αγωγό τροφοδοσίας υπήρχε και ένας υδρομετρητής ο οποίος κατέγραφε την ποσότητα του νερού που χορηγούνταν σε κάθε άρδευση, σε κάθε πειραματικό τεμάχιο με σκοπό τον έλεγχο πιθανών αποκλίσεων από τις επιθυμητές τιμές των δόσεων άρδευσης. Υπήρχαν συνολικά 8 υδρόμετρα.

#### 5.5.2.1.4. Δίκτυο εφαρμογής

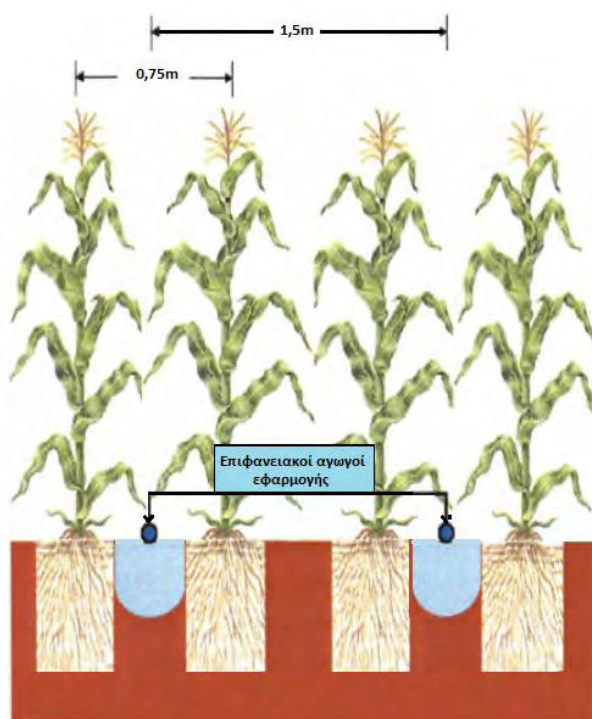
Το δίκτυο εφαρμογής αποτελούνταν από σταλακτηφόρους αγωγούς, ονομαστικής εξωτερικής διαμέτρου 20mm, οι οποίοι ήταν κατασκευασμένοι από εύκαμπτο πολυαιθυλένιο (PE). Οι αγωγοί ήταν της εταιρείας Netafim με το εμπορικό όνομα Uniram RC. Κάθε αγωγός εφαρμογής περιελάμβανε σταλακτήρες αυτορυθμιζόμενους και αυτοκαθαριζόμενους που εξασφάλιζαν ρυθμό εφαρμογής του νερού άρδευσης ίσο με 2,3L/h για εύρος πίεσης από 0,5-

3,0atm. Η απόσταση μεταξύ τους, επί του αγωγού, ήταν 0,8m. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.6 σε κάθε πειραματικό τεμάχιο υπήρχαν δύο αγωγοί εφαρμογής με μεταξύ τους απόσταση 1,5m. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 16 αγωγοί εφαρμογής.

Στο Σχήμα 5.7 φαίνεται η διάταξη των φυτών σε σχέση με τους αγωγούς εφαρμογής, το ριζικό σύστημα (Pages et al., 2004) και η περιοχή ύγρανσης του εδάφους από κάθε σταλακτή, σε αργιλώδες έδαφος, έπειτα από 4 ώρες άρδευσης (Freeman et al., 2003) ενώ στις Εικόνες 5.11 και 5.12 απεικονίζονται οι αγωγοί εφαρμογής στον πειραματικό αγρό.



Σχήμα 5.6. Διάταξη των αγωγών του συστήματος σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.



Σχήμα 5.7. Διάταξη των αγωγών εφαρμογής σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.



Εικόνες 5.11 και 5.12. Απεικόνιση των αγωγών εφαρμογής στον πειραματικό αγρό.

#### 5.5.2.2. Διάταξη του δικτύου άρδευσης για τη μέθοδο του αυτόματου εξατμισιμέτρου

Για την άρδευση της μεταχείρισης AUTO-PAN100 χρησιμοποιήθηκε σύστημα άρδευσης με έλεγχο εξ' αποστάσεως. Το σύστημα περιελάμβανε τους ίδιους τρεις τύπους αγωγών που χρησιμοποιήθηκαν στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, με τη διαφορά ότι ο κύριος αγωγός μεταφοράς τροφοδοτούσε 4 δευτερεύοντες αγωγούς τροφοδοσίας και αυτός 8 επιφανειακούς αγωγούς εφαρμογής (δύο για κάθε επανάληψη). Τα υδρόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν συνολικά στα πειραματικά τεμάχια αυτής της μεταχείρισης ήταν 4. Η συγκεκριμένη μεταχείριση αρδεύονταν από δεύτερη δεξαμενή ίδιας χωρητικότητας με την πρώτη, η οποία τροφοδοτούνταν με νερό από την ίδια γεώτρηση όπως και η πρώτη. Η δεύτερη δεξαμενή χρησιμοποιήθηκε γιατί ήταν εφοδιασμένη με ειδικό σύστημα αντλίας και πιεστικού δοχείου που εξασφάλιζε συνεχή παροχή νερού στο σύστημα ολόκληρο το 24ωρο.

Το πιεστικό με την αντλία ήταν εφοδιασμένα με αυτοματισμό λειτουργίας, έτσι ώστε όταν η πίεση στο πιεστικό έπεφτε κάτω από 2atm ο ηλεκτροκινητήρας ξεκίναγε αυτόματα τη λειτουργία του.

Η χρήση πιεστικού κρίθηκε απαραίτητη για να υπάρχει σταθερή πίεση, η οποία εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία της ηλεκτροβάνας και σταθερή παροχή στους σταλάκτες, ώστε να παρέχεται η προβλεπόμενη δόση άρδευσης. Η ηλεκτροβάνα για να λειτουργήσει σωστά, χρειαζόταν πίεση τουλάχιστον 1atm. Το πιεστικό παρείχε σταθερή πίεση ροής 2-2,5atm. Το πιεστικό δοχείο επιπλέον εξυπηρετούσε και τον αυτοματισμό λειτουργίας του συστήματος, καθώς όταν η ηλεκτροβάνα ήταν κλειστή ο ηλεκτροκινητήρας έπρεπε αυτόματα να τίθεται σε λειτουργία.



Η κεφαλή ελέγχου της συγκεκριμένης μεταχείρισης είχε παρόμοια διάταξη με την κεφαλή ελέγχου των άλλων έξι μεταχειρίσεων. Περιελάμβανε ότι και η κεφαλή ελέγχου των μεταχειρίσεων αυτών, με τη διαφορά ότι η ηλεκτροβάννα που χρησιμοποιήθηκε ήταν εναλλασσόμενου ρεύματος 12V και ήταν συνδεδεμένη με data logger αντί για προγραμματιστή άρδευσης. Για την κατακράτηση των φερτών υλικών που τυχόν μεταφέρονταν με τον αγωγό μεταφοράς χρησιμοποιήθηκε φίλτρο σήτας.

## **5.6. Συντήρηση συστημάτων άρδευσης**

Κατά την εγκατάσταση των συστημάτων στον αγρό και πριν την έναρξη των αρδεύσεων με στάγδην άρδευση, διενεργούνταν έλεγχος της σωστής λειτουργίας τους. Συγκεκριμένα οι εργασίες που γίνονταν κάθε φορά, περιλάμβαναν οι εξής:

- Έλεγχο και καθαρισμό του φίλτρου σήτας.
- Έλεγχο της σωστής λειτουργίας των ηλεκτροβαλβίδων.
- Έλεγχο της σωστής λειτουργίας του προγραμματιστή άρδευσης και αντικατάσταση της μπαταρίας του.

Κατά την περίοδο λειτουργίας των συστημάτων άρδευσης και κατά τη διάρκεια των αρδεύσεων με στάγδην άρδευση, διενεργούνταν οι εξής έλεγχοι:

- Οπτικός έλεγχος της σωστής λειτουργίας των σταλακτών (βάσει της έκτασης της ζώνης διαβροχής του εδάφους).
- Έλεγχος των ενδείξεων των υδρομετρητών.
- Έλεγχος του κριτηρίου Christiansen (1942) σε κάθε επιφανειακό αγωγό εφαρμογής, σύμφωνα με το οποίο η διαφορά πίεσης μεταξύ του πρώτου και τελευταίου σταλάκτη, δεν πρέπει να ξεπερνά το 20%.

## **5.7. Μετρήσεις χαρακτηριστικών της καλλιέργειας**

### **5.7.1. Μέτρηση του ύψους των φυτών**

Με σκοπό να παρατηρηθεί ο ρυθμός αύξησης του αραβοσίτου, διενεργήθηκαν μετρήσεις ύψους φυτών σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν με τη βοήθεια άκαμπτου μεταλλικού γνώμονα μήκους 2,5m, από την επιφάνεια του εδάφους έως το σημείο

έκπτυξης του φύλλου σημαίας (flag leaf), του κάθε φυτού. Οι μετρήσεις αυτές ήταν εβδομαδιαίες και πραγματοποιούνταν σε φυτά που παρουσίαζαν ομοιόμορφη ανάπτυξη και σε αριθμό φυτών που αντιστοιχούσε σε επιφάνεια εδάφους 1m<sup>2</sup>. Στη συνέχεια υπολογιζόταν ο μέσος όρος του ύψους των φυτών σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν 6 μετρήσεις οι οποίες ξεκίνησαν προς το τέλος του πρώτου δεκαημέρου του Ιουλίου (8/7/2014).

### **5.7.2. Μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας**

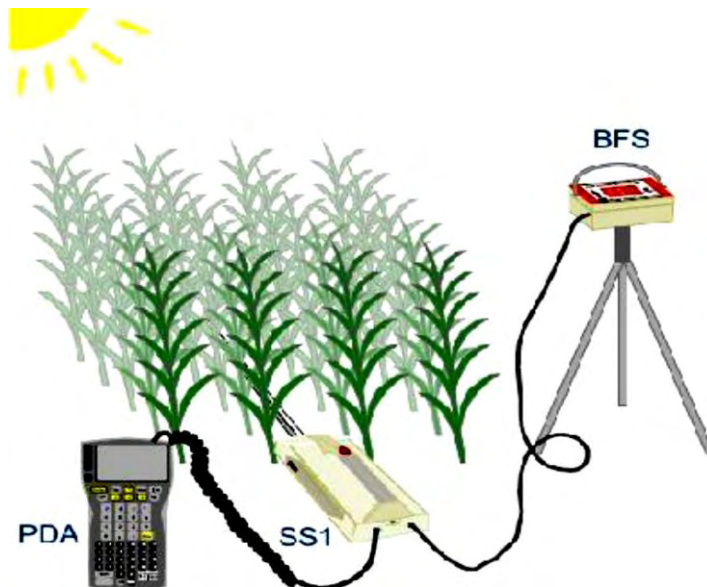
Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index, L.A.I.) της καλλιέργειας προσδιορίζονταν σε εβδομαδιαία βάση με το σύστημα SunScan Canopy Analysis System, της εταιρείας Delta-T Devices Ltd, που εδρεύει στο Ηνωμένο Βασίλειο. Είναι μια καινοτόμος τεχνική για γρήγορες και μη καταστροφικές μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν σε σταθερή περιοχή σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, στις μεσαίες σειρές φυτών, διαγώνια, έτσι ώστε να σχηματίζεται γωνία 39 μοιρών προς τις γραμμές σποράς.

Σε κάθε σημείο λαμβάνονταν 3 μετρήσεις και υπολογιζόταν ο μέσος όρος τους. Οι μετρήσεις γίνονταν κατά τις μεσημβρινές ώρες και όταν ο ήλιος βρισκόταν σε μικρή γωνία κλίσης σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (Webb et al., 2008), καθώς και την ίδια ημέρα που διεξάγονταν και οι μετρήσεις του ύψους των φυτών.

#### **5.7.2.1. Το σύστημα Sunscan Canopy Analysis**

Το σύστημα SunScan, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.8 και στην Εικόνα 5.13, αποτελείται από τον αισθητήρα (SS1), από έναν υπολογιστή παλάμης (PDA) στον οποίο απεικονίζονται και καταγράφονται οι μετρήσεις και από ένα αισθητήρα ο οποίος μετρά την άμεση και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία (BFS).



**Σχήμα 5.8.** Διάταξη του συστήματος SunScan για τη μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Potter et al., 1996).



**Εικόνα 5.13.** Το σύστημα SunScan Canopy Analysis System.

Ο αισθητήρας (SS1) αποτελείται από μία ράβδο μήκους 1m και πάχους 13mm, η οποία περιέχει 64 φωτοδιόδους σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (15,6mm). Στην άκρη της ράβδου βρίσκεται η λαβή της, στην οποία εσωκλείεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα μετατροπής του σήματος των αισθητήρων σε ψηφιακές μετρήσεις καθώς και οι μπαταρίες και τα καλώδια σύνδεσης. Ο αισθητήρας αποκρίνεται στο ορατό φως, στο φάσμα 400-700nm.

Ο υπολογιστής παλάμης (PDA) ήταν της εταιρείας Psion με την εμπορική ονομασία Workabout mx. Ο υπολογιστής διαθέτει επεξεργαστή 16 ψηφίων της εταιρείας NEC, εσωτερική μνήμη 2Mbytes, οθόνη 240 επί 100pixels καθώς και πληκτρολόγιο 57 πλήκτρων.

Διαθέτει το λειτουργικό σύστημα SIBO στο οποίο είναι εγκατεστημένο το λογισμικό SunScan.

Ο αισθητήρας (BFS) μετρά, εκτός από την άμεση και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία, την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation-PAR). Ο αισθητήρας αποτελείται από πολλές φωτοδιόδους από τις οποίες μια είναι πάντα σκιασμένη, έτσι ώστε να διαχωρίζεται η άμεση και έμμεση ακτινοβολία.

Παρόλο που η χρήση του αισθητήρα αυτού είναι προαιρετική, η χρησιμοποίησή του βελτιώνει το αποτέλεσμα των μετρήσεων (Webb et al., 2008).

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε καλλιέργεια αραβόσιτου, το σύστημα SunScan είναι πολύ αξιόπιστο στις μετρήσεις εφόσον τηρούνται οι διαδικασίες που περιγράφονται από τον κατασκευαστή (Oguntunde et al., 2012), ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών ουρανού (Wilhelm et al., 2000).

#### **5.7.2.2. Η μέθοδος μέτρησης του LAI με το σύστημα SunScan Canopy Analysis**

Ο αισθητήρας Sunscan υπολογίζει το LAI έμμεσα από μετρήσεις της ακτινοβολίας. Ο τρόπος υπολογισμού βασίζεται σε ένα μοντέλο, σύμφωνα με τους Potter et al. (1996) και Webb et al. (2008), με ορισμένες αρχικές υποθέσεις, όπως φαίνονται παρακάτω:

- Η φυτική κάλυψη είναι μια άπειρη, ομοιόμορφη, οριζόντια πλάκα, με στοιχεία φύλλων τυχαία κατανεμημένα, σε αναλογία προς την έκταση ενός ελλειψοειδούς, όπως περιγράφηκε από τον Campbell (1986).
- Το προσπίπτον φως αποτελείται από ένα συστατικό, προερχόμενο από μια σημειακή πηγή σε μια δεδομένη γωνία και μια συνιστώσα διάχυσης από κάθε σημείο στον ουρανό (αίθριος ουρανός).
- Η φυτική κάλυψη είτε έχει επαρκές υψηλό LAI έτσι ώστε το φως που αντανακλάται πίσω, από το έδαφος, να είναι αμελητέο, είτε η αντανάκλαση του εδάφους είναι παρόμοια με εκείνη της φυτικής κάλυψης.
- Ένα μέρος από το φως που παρεμποδίζεται από το στοιχείο του φύλλου απορροφάται πλήρως. Το υπόλοιπο επανεκπέμπεται ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις.

Σύμφωνα με τους Potter et al. (1996) και τους Webb et al. (2008), οι υποθέσεις του μοντέλου καθορίζονται ως εξής:

- Η φυτική κάλυψη χωρίζεται σε οριζόντια στρώματα των 0,1 LAI.

- Η απορρόφηση της άμεσης δέσμης από κάθε στρώμα υπολογίζεται με την εξίσωση του Campbell (1986). Στον υπολογισμό της ποσότητας του απορροφημένου φωτός, το οποίο επανεκπέμπεται, η συνολική ισχύς της άμεσης δέσμης πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Το ποσό που παρεμποδίζεται από το στρώμα είναι η διαφορά μεταξύ απόλυτης έντασης, πάνω και κάτω από το στρώμα.
- Το διαχεόμενο φως που παρεμποδίζεται από το στρώμα, υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη το προσπίπτον διαχεόμενο φως και το άθροισμα του επανεκπεμπόμενου φωτός, από όλα τα στρώματα, εξασθενημένο από τα ενδιάμεσα στρώματα. Και σε αυτή την περίπτωση, οι απόλυτες και όχι οι διορθωμένες, με το συνημίτονο, μετρήσεις πρέπει να χρησιμοποιηθούν.
- Και οι δυο μετρήσεις (απόλυτες και διορθωμένες) του φωτός υπολογίζονται για το κάθε στρώμα και το μοντέλο επαναλαμβάνεται συνεχώς, μέχρι να συγκλίνει. Αυτό έχει εφαρμοστεί για ένα εύρος διαφορετικών τιμών των μεταβλητών.

Αυτοί οι υπολογισμοί λαμβάνουν υπόψη τόσο τις οριζόντιες όσο και τις κάθετες συνιστώσες του φωτός, οπότε και απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς. Έτσι, για τις διάφορες μεταβλητές υπολογίστηκαν τα αποτελέσματα του μοντέλου. Έπειτα, βρέθηκαν συναρτήσεις οι οποίες ταίριαζαν στα αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν από την προηγούμενη διαδικασία. Αυτές οι προσεγγιστικές συναρτήσεις χρησιμοποιούνται στο λογισμικό του αισθητήρα Sunscan για τον υπολογισμό του LAI. Οι τιμές του LAI που υπολογίζονται με αυτό τον τρόπο έχουν ένα εύρος λάθους μέχρι 10%, από αυτές που θα υπολογίζονταν με το πλήρες μοντέλο (Potter et al., 1996; Webb et al., 2008).

### 5.7.3. Μέτρηση της βιομάζας των φυτών

Οι μετρήσεις χλωρής και ξηρής βιομάζας πραγματοποιήθηκαν την ημέρα που έγινε και η συγκομιδή του καρπού της καλλιέργειας. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μεμονωμένα φυτά με τη μέθοδο της καταστροφικής δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν τα φυτά στα οποία πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις του ύψους.

Κατά τη δειγματοληψία, τα φυτά αποκόπτονταν με ειδικό κοπτικό εργαλείο στο στέλεχος τους, στο ύψος της επιφάνειας του εδάφους έτσι ώστε να λαμβάνεται μόνο το υπέργειο μέρος των φυτών. Στη συνέχεια, τα μέρη του κάθε φυτού (στελέχη και φύλλα) ζυγίζονταν σε ζυγό ακριβείας με μέγιστο αποδεκτό βάρος τα 100kg (Εικόνα 5.14) και το βάρος τους αναγόταν σε παραγωγή χλωρής βιομάζας (υπέργεια) στο στρέμμα ανά μεταχείριση. Ακολούθως, τα δείγματα τοποθετούνταν σε χάρτινες σακούλες και ξηραίνονταν σε ειδικό πυριαντήριο



(Εικόνα 5.15) στους 40°C, μέχρι σταθεροποίησης του βάρους τους (Samuelson et al., 2006). Μετά την διαδικασία της ξήρανσης τα δείγματα ζυγίζόταν ξανά στον ίδιο ζυγό ακριβείας έτσι ώστε να προσδιοριστεί το ξηρό τους βάρος και στη συνέχεια να αναχθεί σε ξηρή βιομάζα (υπέργεια) στο στρέμμα ανά μεταχείριση.



Εικόνα 5.14 και 5.15. Ο ζυγός ακριβείας και το πυριαντήριο.

#### 5.7.4. Απόδοση σε καρπό

Για τον υπολογισμό της απόδοσης σε καρπό της καλλιέργειας πραγματοποιήθηκε συγκομιδή των σπαδικών με το χέρι των φυτών των οποίων πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις του ύψους. Οι σπάδικες τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες και ακολουθήθηκε ξήρανση στους 60°C ώστε η υγρασία του σπόρου να κατέλθει περίπου στο 14%. Έπειτα, έγινε διαχωρισμός των σπόρων από τον σπάδικα με τη βοήθεια θεριζοαλωνιστικής εκπαιδευτικού τύπου. Τέλος, έγινε ζύγιση του καρπού στον ζυγό ακριβείας και αναγωγή της απόδοσης του καρπού στο στρέμμα ανά μεταχείριση. Η συγκομιδή έλαβε μέρος στις 30 Σεπτεμβρίου του 2014.

### 5.7.5. Ποσότητα του νερού άρδευσης

Η ποσότητα του νερού άρδευσης που εφαρμοζόταν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, σε κάθε μεταχείριση, αλλά και συνολικά, ελεγχόταν μέσω υδρογνομώνων (υδρομετρητών) (Εικόνα 5.16). Οι υδρομετρητές ήταν εγκαταστημένοι στο σημείο υδροληψίας του κάθε πειραματικού τεμαχίου δηλαδή στο σημείο όπου συνδεόταν ο αγωγός τροφοδοσίας με τους αγωγούς εφαρμογής όπως έχει προαναφερθεί. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 12 υδρομετρητές νερού. Η καταγραφή των ποσοτήτων νερού που εφαρμόζονταν, γίνονταν πριν και μετά το τέλος κάθε άρδευσης. Επιπλέον, πραγματοποιούνταν σύγκριση της συνολικής ποσότητας νερού που κατέγραφαν οι υδρομετρητές, με την ποσότητα που κατέγραφαν οι κεντρικοί υδρομετρητές στις κεφαλές ελέγχου.

Με τακτικό έλεγχο των υδρομετρητών εξασφαλιζόταν η έγκαιρη διαπίστωση και αποκατάσταση τυχόν δυσλειτουργιών ή αστοχίας του συστήματος. Έτσι, κατέστη δυνατόν ο έλεγχος της ομοιομορφίας εφαρμογής του νερού άρδευσης και των τυχόν αποκλίσεων από την επιθυμητή δόση άρδευσης.



**Εικόνα 5.16.** Υδρόμετρο τοποθετημένο στον πειραματικό αγρό.

### 5.7.6. Κλιματικά δεδομένα

Κατά την διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων, τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέγονταν και καταγράφονταν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής (Εικόνα 5.17).

Ο μετεωρολογικός σταθμός ήταν εγκατεστημένος στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο, σε απόσταση περίπου 50m από το μέσο του πειραματικού αγρού. Τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέγονταν και καταγράφονταν ανά 12min. Ειδικότερα, καταγράφονταν η θερμοκρασία αέρος ( $^{\circ}\text{C}$ ), η σχετική υγρασία αέρος (%), η βροχόπτωση (mm), η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2m από την επιφάνεια του εδάφους (m/s) και τέλος η ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{W/m}$ ).



**Εικόνα 5.17.** Ο αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής.

Ο μετεωρολογικός σταθμός ήταν ο MetosCompact, της εταιρείας Pessl Instruments GmbH, που εδρεύει στην Αυστρία. Ο μετεωρολογικός σταθμός αποτελείται από το κεντρικό τμήμα, στο οποίο βρίσκεται το καταγραφικό σύστημα και η κεντρική πλακέτα ελέγχου, από τους αισθητήρες, από το φωτοβολταϊκό σύστημα και από το σύστημα τηλεμετρίας.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο το οποίο παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για να λειτουργήσει ο μετεωρολογικός σταθμός και από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο το οποίο παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για να λειτουργήσει το σύστημα τηλεμετρίας.

Το σύστημα τηλεμετρίας αποτελείται από ένα διαμορφωτή-αποδιαμορφωτή ή modem (modulator-demodulator), το οποίο λειτουργεί ως εξυπηρετητής GSM. Έτσι, υπάρχει η δυνατότητα οποιουδήποτε ηλεκτρονικός υπολογιστής που είναι εξοπλισμένος με modem

(ψηφιακό ή αναλογικό) και έχει πρόσβαση σε γραμμή τηλεφωνίας (επίγεια ή κυψελωτή) να συνδεθεί στο σταθμό και να εκτελέσει διάφορες εργασίες, όπως να λάβει (download) τα δεδομένα και να ελέγξει την κατάσταση λειτουργίας του σταθμού.

Προϋπόθεση για τη διασύνδεση του μετεωρολογικού σταθμού με οποιοδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω τηλεμετρίας, είναι η ύπαρξη του κατάλληλου λογισμικού. Το λογισμικό αυτό ονομάζεται MetLink και το παρέχει η κατασκευάστρια εταιρεία του σταθμού. Το MetLink έχει τη δυνατότητα να συνδέεται μέσω τηλεμετρίας στον μετεωρολογικό σταθμό, να λαμβάνει τα δεδομένα και να τα αποθηκεύει στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του χρήστη, σε αρχείο τύπου βάσης δεδομένων. Έτσι, κάθε φορά που το MetLink συνδέεται με τον μετεωρολογικό σταθμό δεν χρειάζεται να αντλεί όλα τα δεδομένα από την αρχή, αλλά μόνο όσα λείπουν από τη βάση δεδομένων, δηλαδή τα μεταγενέστερα του σημείου όπου είχε σταματήσει η προηγούμενη λήψη.

Το λογισμικό MetLink, εκτός από τις παραπάνω λειτουργίες, παρέχει και τη δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας αναφοράς. Ο υπολογισμός γίνεται βάσει της τροποποιημένης συνδυαστικής μεθόδου των Penman-Monteith, όπως αυτή περιγράφεται στο Irrigation and drainage paper 56 του Food and Agricultural Organization (Allen et al., 1998).

#### **5.7.7. Σύστημα άρδευσης με το απλό εξατμισόμετρο τύπου A**

Στο σύστημα άρδευσης με το απλό εξατμισόμετρο τύπου A η άρδευση γινόταν με την παρακάτω διαδικασία. Μετά τη συλλογή των στοιχείων από το εξατμισόμετρο (εξάτμισης και βροχόπτωσης), γινόταν εισαγωγή των δεδομένων σε υπολογιστικό φύλλο Excel για τον υπολογισμό της δόσης και της διάρκειας άρδευσης για κάθε μεταχείριση. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνταν ο προγραμματισμός του προγραμματιστή άρδευσης Miracle DC και ξεκινούσε η άρδευση.

##### **5.7.7.1. Χαρακτηριστικά απλού εξατμισιμέτρου τύπου A**

Το απλό εξατμισόμετρο τύπου A της Αμερικανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (U.S.W.B. Class A Pan) (Σχήμα 5.9 και Εικόνα 5.18) είναι μια κυλινδρική λεκάνη. Κατασκευάζεται από χοντρή, γαλβανισμένη λαμαρίνα με διάμετρο 121cm (1207mm) και βάθος 25cm. Τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση (ξύλινη παλέτα) κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο πυθμένας του να είναι απολύτως οριζοντιωμένος και να απέχει από την επιφάνεια του

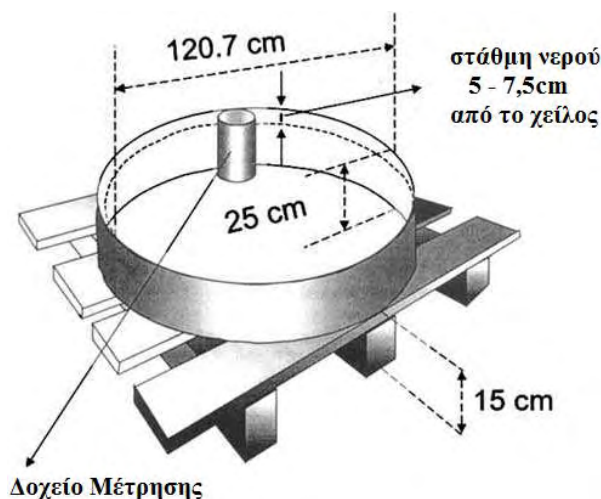
εδάφους 15cm και στη συνέχεια το έδαφος υπερυψώνεται κάτω από τη λεκάνη έτσι ώστε να απέχει τελικά 5cm από τον πυθμένα της. Στη συνέχεια η λεκάνη γεμίζεται με νερό μέχρι 5cm κάτω από το χείλος της. Η στάθμη του νερού κατά τη διάρκεια λειτουργίας της συσκευής δεν πρέπει να πέφτει κάτω από τα 7,5cm από το χείλος της λεκάνης (Παπαζαφειρίου, 1994; Allen et al., 1998; Goodwin, 2000; Smajstrla, 2000).

Το εξατμισίμετρο Α εφοδιάζεται με ειδικό δοχείο μέτρησης της στάθμης του νερού στο εσωτερικό του. Το δοχείο αυτό είναι κατασκευασμένο από το ίδιο υλικό κατασκευής με αυτό του εξατμισιμέτρου και αποτελείται από έξι διαφορετικά μέρη, τα οποία είναι:

- ο σωλήνας του δοχείου με μήκος 230mm και διάμετρο 100mm, ο οποίος περιλαμβάνει 4 τρύπες διαμέτρου 9mm ισαπέχουσες μεταξύ τους για να μην επηρεάζεται η στάθμη μέσα στη λεκάνη,
- το καπάκι για το σφράγισμα του σωλήνα διαμέτρου 100mm για να προστατεύεται το νερό μέσα στο δοχείο μέτρησης από την επίδραση των κλιματικών παραμέτρων, το οποίο στο κέντρο του φέρει οπή 5mm και στη πάνω πλευρά του είναι μόνιμα εγκατεστημένο υποδεκάμετρο με μονάδες μέτρησης μήκους εκφρασμένες σε ίντσες και mm,
- ειδική φλάντζα κατασκευασμένη από πολυβινυλοχλωρίδιο διαμέτρου 100mm για να κλείνει αεροστεγώς το δοχείο μέτρησης,
- την κολώνα από ανοξείδωτο ατσάλι διαμέτρου 5mm και ύψους 170mm πάνω στην οποία προσαρμόζεται και κινείται κατά μήκος της η ακίδα μέτρησης της στάθμης νερού,
- την ακίδα μέτρησης στάθμης που είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε να κινείται ελεύθερα κατά μήκος της μεταλλικής κολώνας και
- τον πλωτήρα στον οποίο είναι προσαρμοσμένη η ακίδα μέτρησης της στάθμης νερού (Goodwin, 2000).

Το εξατμισίμετρο επίσης καλύπτεται από μεταλλικό πλέγμα, για να μην είναι δυνατή η πρόσβαση από πουλιά και ζώα. Στην περίπτωση αυτή η εξάτμιση μειώνεται έως και 13% (Campbell και Phene, 1976).





**Σχήμα 5.9.** Απλό εξατμισόμετρο τύπου Α.



**Εικόνα 5.18.** Απλό εξατμισόμετρο τύπου Α εγκατεστημένο στον πειραματικό αγρό.

#### 5.7.7.2. Τοποθέτηση, Διατήρηση, Συντήρηση, Λήψη Μετρήσεων

Το εξατμισόμετρο τύπου Α πρέπει να τοποθετείται πάνω σε καλλιέργεια αναφοράς ή τουλάχιστο 10m από καλλιεργημένο έδαφος ενώ πρέπει να περιβάλλεται από φράχτη για να προστατεύεται από τις επισκέψεις ζώων. Το εξατμισόμετρο πρέπει να τοποθετείται σε απόσταση από κτήρια, λοιπές κατασκευές, δέντρα και οτιδήποτε είναι πιθανό να προκαλέσει σκίαση. Πρέπει να τοποθετείται σε υπήνεμη θέση στην οποία επικρατούν οι τυπικές κλιματικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής. Δεν πρέπει να τοποθετείται απευθείας σε τσιμέντο, ασφαλτο ή βράχο ενώ όταν τοποθετείται σε ακαλλιέργητο έδαφος τα ζιζάνια θα πρέπει να διατηρούνται σε ύψος χαμηλότερο από αυτό στο οποίο βρίσκεται το εξατμισόμετρο. Πρέπει να αποφεύγεται η εγκατάστασή του σε θέσεις όπου υπάρχει πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ακούσια εισροή νερού στη λεκάνη του εξατμισιμέτρου (Novalynx Corporation, 2007).

Για τη συντήρηση και διατήρηση του εξατμισιμέτρου τύπου Α πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα. Το εξατμισόμετρο πρέπει να διατηρείται βαμμένο στο χρώμα του (ασημί μεταλλικό) ενώ θα πρέπει να αποφεύγεται να βάφεται σε μαύρο χρώμα γιατί επηρεάζεται η εξάτμιση. Αντίθετα όταν επιλέγεται το λευκό χρώμα μικρή επίδραση παρατηρείται στην εξάτμιση. Θα πρέπει να αποφεύγεται να χρησιμοποιούνται λάδια και διαφόρων ειδών γράσα γιατί επηρεάζουν την εξάτμιση. Προστασία από τα άλγη προσφέρει η χρήση ορυκτού θεϊκού χαλκού σε ποσότητα 5-10ppm/L νερού στη λεκάνη του εξατμισιμέτρου ή η χρήση ειδικών αλγοκτόνων. Η θολότητα του νερού μπορεί να μειώσει την εξάτμιση μέχρι 5% επομένως, η ανανέωση του νερού της λεκάνης και ο σχολαστικός καθαρισμός της θα πρέπει να

επαναλαμβάνεται κάθε μήνα (Allen et al., 1998; Goodwin, 2000; Smajstrla, 2000). Ωστόσο, η καθημερινή πρακτική δείχνει ότι ο καθαρισμός του εξατμισιμέτρου πρέπει να γίνεται κάθε 20 ημέρες περίπου.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά την συλλογή των μετρήσεων εξάτμισης από εξατμισόμετρο τύπου Α. Οι μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται το πρωί την ίδια πάντα ώρα (9π.μ). Η πλήρωση του εξατμισιμέτρου με ογκομετρικό δοχείο ελαχιστοποιεί τα σφάλματα μέτρησης. Από το εξατμισόμετρο, σύμφωνα με τις διαστάσεις του, απομακρύνονται 1,14L νερού για κάθε mm πτώσης της στάθμης του. Επομένως, ένα ογκομετρικό δοχείο που χωρά 2,28L νερού είναι κατάλληλο για την πλήρωση του εξατμισιμέτρου. Η στάθμη του νερού εντός της λεκάνης πρέπει να διατηρείται στο ύψος που προαναφέρθηκε γιατί διαφορετικά το σφάλμα στη μέτρηση της εξάτμισης είναι σημαντικό. Έτσι, κάθε φορά που επιβάλλεται πλήρωση του εξατμισιμέτρου πρέπει η αντίστοιχη ποσότητα νερού, η οποία αποτελεί την εξάτμιση, να συμπληρώνεται έως την ένδειξη (Ο) της ράβδου ένδειξης (Goodwin, 2000; Smajstrla, 2000).

Στις περιπτώσεις βροχοπτώσεων απαιτείται ιδιαίτερος χειρισμός. Όταν παρατηρηθεί βροχόπτωση τότε θα πρέπει η λήψη της μέτρησης να γίνει ταυτόχρονα με την μέτρηση του ύψους της βροχόπτωσης. Στις περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων, οπότε παρατηρείται υπερχειλίση της λεκάνης του εξατμισιμέτρου, τότε με το ογκομετρικό δοχείο αφαιρούμε νερό έως το σημείο (Ο). Η εξάτμιση τότε είναι η διαφορά μεταξύ του ύψους βροχής και της ποσότητας νερού που αφαιρέθηκε. Στις περιπτώσεις που η βροχόπτωση είναι μικρή τότε προστίθεται νερό έως την ένδειξη (Ο) και η εξάτμιση προκύπτει από το άθροισμα του ύψους βροχής με την ποσότητα νερού που προστέθηκε στο εξατμισόμετρο (Goodwin, 2000).

#### **5.7.8. Σύστημα άρδευσης με το αυτόματο εξατμισόμετρο τύπου Α**

Στο σύστημα άρδευσης με το αυτόματο εξατμισόμετρο τύπου Α η άρδευση γινόταν πλήρως αυτοματοποιημένα. Ο data logger κατέγραφε αυτόματα την ένδειξη του εξατμισιμέτρου, μέσω του αυτόματου αισθητήρα WL1 του εξατμισιμέτρου με τον οποίο συνδεόταν. Στη συνέχεια, μέσω του modem τα δεδομένα μεταφέρονταν σε κεντρικό υπολογιστή, ασύρματα, χρησιμοποιώντας το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Στον κεντρικό αυτό υπολογιστή, γινόταν επεξεργασία των δεδομένων σε υπολογιστικό φύλλο Excel και υπολογιζόταν οι ολικές ανάγκες της καλλιέργειας, αφαιρούμενης της βροχόπτωσης, της οποίας οι μετρήσεις λαμβανόταν από το μετεωρολογικό σταθμό. Το αποτέλεσμα αυτό μεταφραζόταν σε διάρκεια άρδευσης με σκοπό να καλυφθούν τα χιλιοστά που εξατμίστηκαν. Έπειτα, δινόταν η εντολή για άρδευση από τον κεντρικό υπολογιστή (μέσω κινητού

τηλεφώνου προς το modem). Έτσι, ενεργοποιούνταν ο data logger, ο οποίος με ηλεκτρική διέγερση προς την ηλεκτροβάνα, ενεργοποιούσε το σύστημα άρδευσης.

Η γενική αρχή λειτουργίας του αισθητήρα μέτρησης στάθμης νερού WL1 και του ηλεκτροδίου παραγωγής ηλεκτρικού πεδίου, το οποίο είναι ενσωματωμένο στον αισθητήρα, έγκειται στην παραγωγή ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τον αισθητήρα το οποίο έχει διαφορετική τιμή ηλεκτρικού δυναμικού ανάλογα με τη στάθμη του νερού στο εξατμισίμετρο. Κάθε φορά που ο αισθητήρας τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια μέσω του καλωδίου τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος, από το data logger, δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο γύρω του. Ανάλογα με το ύψος του νερού στη λεκάνη του εξατμισιμέτρου η τιμή του ηλεκτρικού δυναμικού, του πεδίου που δημιουργείται, είναι διαφορετική και εκφράζεται σε mV. Η τιμή αυτή επιστρέφει ως αναλογικό σήμα στο data logger όπου και μετατρέπεται σε mm ύψους νερού χρησιμοποιώντας γραμμική εξίσωση μέσω του λογισμικού που διαθέτει και αποθηκεύεται έως ότου πραγματοποιηθεί νέα καταγραφή. Το λογισμικό που διαθέτει του δίνει τη δυνατότητα να συνδέει και άλλες πληροφορίες (ημερομηνία, εύρος μέτρησης και ηλεκτρικό δυναμικό εξόδου), οι οποίες καθορίζουν τη στάθμη του νερού στο εξατμισίμετρο. Η καταγραφή αρχίζει αμέσως μετά την τροφοδοσία του αισθητήρα με ηλεκτρική ενέργεια και συνεχίζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η τροφοδοσία του συστήματος γίνεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και επικουρικά υποστηρίζεται από χημική πηγή ενέργειας (μπαταρία) 9V. Το εύρος των καταγραφών, επιλέγεται από το χρήστη και για όσο υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια για τη λειτουργία του.

Ο αισθητήρας μέτρησης στάθμης έχει τη δυνατότητα είτε συνεχούς λειτουργίας είτε διακοπτόμενης. Στη πρώτη περίπτωση, ο αισθητήρας είναι σε λειτουργία συνεχώς καταγράφοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και αποθηκεύοντάς τα στη μνήμη του data logger ενώ στη δεύτερη αμέσως μετά την καταγραφή των δεδομένων και την αποθήκευσή τους τίθεται εκτός λειτουργίας και επαναλειτουργεί όταν ο data logger τον τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια ικανή για την επανέναρξη της λειτουργίας του.

Ο data logger που χρησιμοποιήθηκε ήταν το μοντέλο GP1 της εταιρείας Delta-T devices. Είχε τη δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων σε εσωτερική μνήμη. Ο GP1 data logger περιλαμβάνει επτά κανάλια. Δύο διαφορετικά αναλογικά κανάλια (κανάλι 1 και 2), δύο κανάλια θερμοκρασίας/αντίστασης (κανάλι 3 και 4), δύο κανάλια ανάγνωσης (κανάλι 5 και 6) και ένα κανάλι για το διακόπτη (Relay). Στα δύο πρώτα κανάλια συνδέονται αισθητήρες μέτρησης υγρασίας εδάφους ενώ στα κανάλια 3 και 4 συνδέονται θερμομέτρα και το εύρος του σήματος πρέπει να είναι -2,8 έως +3,6V. Στο κανάλι 5 συνδέονται συσκευές, οι οποίες καταγράφουν δεδομένα με μεγάλη ταχύτητα και συχνότητα (ροόμετρα) ενώ στο κανάλι 6 συνδέονται συσκευές, οι οποίες καταγράφουν δεδομένα με μικρή συχνότητα (βροχόμετρα).



Το κανάλι του Relay δεν είναι τίποτα περισσότερο από έναν διακόπτη ανοίγματος/κλεισίματος (On/Off). Ο GP1 λειτουργεί με μπαταρία 9V, η οποία πρέπει να αντικαθίσταται όταν το ηλεκτρικό δυναμικό που δίνει πέφτει κάτω από τα 5,5V. Κατά την αντικατάσταση της μπαταρίας τα δεδομένα που έχουν ήδη καταγραφεί στη μνήμη του GP1 δεν χάνονται, αλλά δεν είναι δυνατή η καταγραφή νέων. Ο GP1 συνοδεύεται:

- από κατάλληλο λογισμικό (Delta-Link), το οποίο είναι συμβατό με το περιβάλλον εργασίας Windows 98, Me, 2000, XP ή νεώτερη έκδοση,
- από ειδικό καλώδιο USB και RS232 για την σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή,
- από σκληρό δίσκο χωρητικότητας 10MB,
- από λογισμικό μεταφοράς των δεδομένων σε φύλλο εργασίας (Microsoft Excel 97 ή νεότερο) και
- από λογισμικό ανάγνωσης κειμένου (Acrobat Reader).

Ο data logger ήταν συνδεδεμένος με modem κινητού τηλεφώνου, μέσω του οποίου γινόταν η επικοινωνία με απομακρυσμένο Η/Υ (από το σπίτι). Η μετάδοση του σήματος από το modem γινόταν μέσω της κεραίας που διέθετε και συνδεόταν με την κεραία του δικτύου κινητής τηλεφωνίας που κάλυπτε την περιοχή. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε κάρτα σύνδεσης για μεταφορά δεδομένων. Απαραίτητη προϋπόθεση για να πραγματοποιηθεί επιτυχής σύνδεση του modem με τον απομακρυσμένο Η/Υ ήταν ο Η/Υ να είναι συνδεδεμένος με απλή γραμμή ΟΤΕ. Το modem τροφοδοτούνταν με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ όλο το εικοσιτετράωρο.

Το σύστημα αποτελούνταν και από έναν χρονοδιακόπτη ο οποίος χρησίμευε για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο modem. Ήταν προγραμματισμένος να λειτουργεί συγκεκριμένη ημέρα και ώρα και για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (διάρκεια μιας ώρας) έτσι ώστε να εξοικονομείται ενέργεια αλλά και να δυσχεραίνεται η πιθανή επικοινωνία με ανεπιθύμητους χρήστες.

Το τελευταίο κομμάτι του συστήματος αποτελούσε η 12V εναλλασσόμενου ρεύματος ηλεκτροβάνα. Η ηλεκτροβάνα ήταν συνδεδεμένη στο Relay του data logger και μέσω του συστήματος data logger-modem-Η/Υ δινόταν οι εντολές για το άνοιγμα και το κλείσιμό της καθώς και η επιλογή της διάρκειας άρδευσης αλλά και της χρονοκαθυστέρησης μεταξύ δύο αρδεύσεων.

Οι διάφορες τιμές της πτώσης της στάθμης του νερού στο εξατμισίμετρο καταγράφονταν στον data logger ανά 30 λεπτά της ώρας και η άρδευση με την μέθοδο αυτή πραγματοποιούνταν κάθε φορά που συγκεντρωνόταν 30mm εξάτμισης στον data logger.

Οι πρακτικές ωφέλειες από την εφαρμογή αυτού του συστήματος περιγράφονται παρακάτω αναλυτικά:

- αυξάνεται το κέρδος του παραγωγού λόγω μείωσης των εξόδων μετακίνησης στον αγρό,
- αξιοποιεί τον εξοπλισμό που ήδη διαθέτει ο παραγωγός (εγκατάσταση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, σύστημα άρδευσης κ.α.) για τη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού, ενέργειας και χημικών,
- αποτελεί ένα ευέλικτο σύστημα προγραμματισμού των αρδεύσεων ικανό να συνδυαστεί με τον ιδιαίτερο εξοπλισμό που διαθέτει ο κάθε παραγωγός,
- είναι αξιόπιστο και ακριβές σύστημα σύγχρονης τεχνολογίας ικανό να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές με διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες και
- ελαχιστοποιεί τον εξοπλισμό που απαιτείται για τον βέλτιστο προγραμματισμό των αρδεύσεων.



**Εικόνα 5.18.** Ο αισθητήρας μέτρησης στάθμης νερού του εξατμισιμέτρου WL1, το εξατμισίμετρο τύπου A και ο data logger.

## 5.8. Υπολογισμός δόσης άρδευσης

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της δόσης και της διάρκειας άρδευσης με τη μέθοδο του απλού ή του αυτόματου εξατμισιμέτρου τύπου A ήταν η παρακάτω. Αρχικά υπολογιζόταν η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET<sub>0</sub>), όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.2 (εξίσωση 2.1). Στη συνέχεια, καθοριζόταν τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας και υπολογιζόταν ο φυτικός συντελεστής (K<sub>c</sub>) και η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET<sub>c</sub>), όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.3.

Η ET<sub>c</sub> εκφράζει τις απώλειες μιας καλλιέργειας σε νερό. Επομένως, η αρδευτική δόση θα πρέπει να είναι τουλάχιστον όση και οι απώλειες νερού. Ωστόσο θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα έτσι ώστε η συνολική ποσότητα νερού που θα εφαρμοστεί στον αγρό να καλύπτει τις διάφορες απώλειες. Στον όρο «απώλειες» περιλαμβάνονται οι πραγματικές απώλειες του συστήματος άρδευσης, μια ποσότητα νερού η οποία προορίζεται για έκπλυση αλάτων και μια επιπλέον ποσότητα νερού από πιθανά σφάλματα μέτρησης της εξάτμισης από το εξατμισιόμετρο τύπου A λόγω της σκίασης που προκαλούσε το προστατευτικό δίχτυ που σκέπαζε τη λεκάνη του εξατμισιμέτρου. Συνολικά οι «απώλειες» αυτές ενσωματώθηκαν σε ένα συντελεστή 0,09. Ο συντελεστής αυτός ενσωματώθηκε στο συντελεστή εξατμισιμέτρου (K<sub>pan</sub>) ο οποίος διαμορφώθηκε στο 0,77 (πραγματική τιμή K<sub>pan</sub>=0,98 όπως προκύπτει από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για την περιοχή του Βελεστίνου (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, 1996)). Έτσι, η δόση άρδευσης για τις μεταχειρίσεις που αρδεύτηκαν πλήρως υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$Dn = \frac{K_{pan} \times E_{pan} \times K_c - P_e}{EFF} \quad [5.1]$$

όπου D<sub>n</sub>: είναι η δόση άρδευσης για τις πλήρως αρδευόμενες μεταχειρίσεις (PAN100 και AUTO-PAN100) (mm),

K<sub>pan</sub>: είναι ο συντελεστής εξατμισιμέτρου (αδιάστατος),

E<sub>pan</sub>: είναι η ημερήσια εξάτμιση από το εξατμισιόμετρο τύπου A (mm),

K<sub>c</sub>: είναι ο φυτικός συντελεστής της καλλιέργειας (αδιάστατος)

P<sub>e</sub>: είναι η ωφέλιμη βροχόπτωση (mm) και

EFF: είναι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος στάγδην άρδευσης.

Η δόση άρδευσης για την ελλειμματικά αρδευόμενη μεταχείριση (PAN70) ήταν το γινόμενο του D<sub>n</sub> επί τον συντελεστή 0,7 ο οποίος εξέφραζε το 70% των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό.

## 5.9. Υπολογισμός ωφέλιμης ή ενεργού βροχόπτωσης (Pe)

Ωφέλιμη ή ενεργός βροχόπτωση (Pe) είναι το ποσοστό της συνολικής βροχόπτωσης, σε μια καλλιέργεια και σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, το οποίο είναι διαθέσιμο για να καλύψει τις ανάγκες της διαπνοής της καλλιεργημένης έκτασης (Bos και Nugteren, 1990).

Όταν η βροχόπτωση είναι μικρότερη από το 20% της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, θεωρείται αμελητέα, διότι εξατμίζεται πλήρως. Το ποσοστό της βροχόπτωσης που χάνεται μέσω της επιφανειακής απορροής εξαρτάται από την σφοδρότητα της βροχής, την κλίση του αγρού και τον τύπο, τις υδραυλικές παραμέτρους και το ποσοστό της υγρασίας του εδάφους.

Γενικά, η επιφανειακή απορροή θεωρείται αμελητέα για υπολογισμούς ημέρας, διότι το πλεονάζον νερό θεωρείται ότι αναπληρώνει το έδαφος μέχρι το σημείο της υδατοϊκανότητάς του (Allen et al., 1998). Τέλος, σε βροχοπτώσεις με μεγάλο όγκο νερού σε μικρές περιόδους θεωρείται ότι το επιπλέον νερό χάνεται ως βαθιά διήθηση.

Στην παρούσα έρευνα δεν υπήρχαν απώλειες του νερού λόγω βαθιάς διήθησης, ούτε ανύψωση υπογείου νερού. Η βροχόπτωση που ήταν μεγαλύτερη από το 20% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, πολλαπλασιάστηκε με έναν συντελεστή ωφελιμότητας ίσο με 0,8 ώστε να καλυφθούν απώλειες λόγω εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους.

## 5.10. Υπολογισμός αποδοτικότητας εφαρμογής της άρδευσης με σταγόνες (EFF)

Κάθε μέθοδος άρδευσης έχει σχεδιαστεί ώστε να παρέχει όσο δυνατόν πιο ομοιόμορφα το νερό σε όλα τα φυτά. Παρόλα αυτά όμως, κάθε μέθοδος παρέχει περισσότερο νερό σε ορισμένα φυτά και λιγότερο σε κάποια άλλα. Λόγω της διαφορετικότητας των μεθόδων άρδευσης, η αποδοτικότητα εκφράζεται σε κάθε μέθοδο με διαφορετικό τρόπο.

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της επιφανειακής στάγδην άρδευσης, της οποίας η αποδοτικότητα υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$EFF = TR \cdot EU \quad [5.2]$$

όπου EFF είναι η αποδοτικότητα εφαρμογής της άρδευσης με σταγόνες ή βαθμός εφαρμογής του νερού, TR είναι το μέρος του νερού που διηθήθηκε στο έδαφος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα από την καλλιέργεια και EU είναι η ομοιομορφία ενστάλαξης.

Οι τιμές του TR κυμαίνονται από 0,9 σε ξηρά κλίματα με μικρό ποσοστό ύγρανσης και αυξημένη συγκέντρωση αλάτων στο νερό, έως 1 σε υγρά κλίματα χωρίς προβλήματα αλάτων. Γενικά, σε ένα σύστημα που λειτουργεί σωστά σε Ελληνικές συνθήκες, η τιμή του TR είναι περίπου 0,95 (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Η ομοιομορφία ενστάλαξης (EU) σχετίζεται με την καλή λειτουργία των σταλακτών και την σταθερότητα της παροχής τους. Σε δίκτυο άρδευσης που λειτουργεί ικανοποιητικά, η ομοιομορφία ενστάλαξης μπορεί να φτάσει από 0,9 έως 0,95. Αν οι σταλάκτες είναι αυτορρυθμιζόμενοι, τότε η ομοιομορφία ενστάλαξης είναι ίση με 1 (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Στην παρούσα έρευνα η αποδοτικότητα εφαρμογής της άρδευσης υπολογίστηκε ίση με 0,95 (TR=0,95 και EU=1).

### 5.11. Υπολογισμός διάρκειας άρδευσης

Για τον υπολογισμό της διάρκειας στάγδην άρδευσης απαιτείται να είναι γνωστό το ωριαίο ύψος βροχής που εφαρμόζεται από το σύστημα άρδευσης που χρησιμοποιείται. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος άρδευσης (στάγδην) που πρέπει να γνωρίζει ο μελετητής για να υπολογίσει το ωριαίο ύψος βροχής είναι:

- η παροχή κάθε σταλάκτη (L/h),
- ο αριθμός σταλακτών ανά φυτό (αδιάστατος) και
- η ισαποχή των σταλακτών επί του σταλακτηφόρου σωλήνα (m).

Επιπλέον, απαραίτητη είναι και η γνώση των αποστάσεων σποράς ή φύτευσης, καθώς και η πυκνότητα φύτευσης, δηλαδή ο αριθμός των φυτών επί της γραμμής σποράς. Επομένως, όταν είναι γνωστές οι παραπάνω παράμετροι, η διάρκεια άρδευσης και το ωριαίο ύψος βροχής υπολογίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$t = \frac{Dn}{Dh} \quad [5.3] \quad \text{και} \quad Dh = \frac{q \times n}{St \times Sr} \quad [5.4]$$

όπου  $t$ : η διάρκεια άρδευσης (h),

$Dn$ : η δόση άρδευσης (mm)

$Dh$ : το ωριαίο ύψος βροχής (mm/h),

$q$ : η παροχή του σταλάκτη (L/h),

$St$ : η ισαποχή των φυτών επί της γραμμής σποράς ή φύτευσης (m),

$Sr$ : η ισαποχή των γραμμών σποράς ή φύτευσης (m),

$n$ : ο αριθμός σταλακτών ανά δύο γραμμές φυτών και ο οποίος δίνεται από τη σχέση

$$n = \frac{St}{2 \times Se} \quad [5.5]$$

όπου  $Se$ : η ισαποχή των σταλακτών επί του σταλακτηφόρου σωλήνα (αδιάστατος).

## 5.12. Υπολογισμός εύρους άρδευσης

Το εύρος άρδευσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα καθορίστηκε στις 4 ημέρες. Για την ελαχιστοποίηση πιθανού σφάλματος όπως να μεσολαβεί μεγάλος αριθμός ημερών μεταξύ των αρδεύσεων, πραγματοποιήθηκε έλεγχος του εύρους άρδευσης με τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης για κάθε μήνα της καλλιεργητικής περιόδου. Το άθροισμα των τιμών της πραγματικής ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων δεν θα έπρεπε να υπερβαίνει την πρακτική δόση άρδευσης. Για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης απαιτούνταν να είναι γνωστές οι ακόλουθοι παράμετροι:

- η υδατοϊκανότητα του εδάφους (FC),
- το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP),
- το βάθος ριζοστρώματος για κάθε μήνα της αρδευτικής περιόδου (RD),
- το όριο εξάντλησης της εδαφικής υγρασίας (F),
- το ποσοστό διαβροχής του εδάφους (P),
- ο συντελεστής καλλιέργειας  $f_1$  για φυτά σε πλήρη ανάπτυξη,
- ο διορθωτικός συντελεστής  $f_2$  που σχετίζεται με το ποσοστό φυτοσκιάσεως,
- τα χαρακτηριστικά του συστήματος άρδευσης (παροχή  $q$ , αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό  $n$ , βαθμός απόδοσης του συστήματος EFF και ισαποχή σταλακτήρων επί του αγωγού εφαρμογής  $Se$ ),
- οι αποστάσεις σποράς ή φύτευσης ( $Sr$ ),
- οι αποστάσεις των φυτών επί της γραμμής σποράς ή φύτευσης ( $St$ ) και
- η μέγιστη ημερήσια εξατμισοδιαπνοή για κάθε μήνα της αρδευτικής περιόδου (ETmax).

Δεδομένα προηγούμενων ετών χρησιμοποιήθηκαν για την υδατοϊκανότητα του εδάφους (FC), το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP) καθώς και για την μέγιστη ημερήσια εξατμισοδιαπνοή για κάθε μήνα της αρδευτικής περιόδου (ETmax).

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω παραμέτρους προέκυψαν οι Πίνακες 5.4 και 5.5.

**Πίνακας 5.4.** Τιμές δεδομένων που απαιτούνται για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης.

	<b>FC</b> (%κ.ό.)	<b>PWP</b> (%κ.ό.)	<b>RD</b> (mm)	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>f<sub>1</sub></b>	<b>f<sub>2</sub></b>	<b>ETmax</b> (mm)
<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	35,35	21,25	450	0,55	1,00	1,00	0,70	6,66
<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	35,35	21,25	550	0,55	1,00	1,00	0,85	7,19
<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	35,35	21,25	700	0,55	1,00	1,00	0,95	5,94
<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ</b>	35,35	21,25	750	0,55	1,00	1,00	1,00	4,86

**Πίνακας 5.5.** Θεωρητικός υπολογισμός της πρακτικής δόσης άρδευσης, του εύρους και της διάρκειας άρδευσης.

	<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ</b>
<b>Διαθέσιμη υγρασία</b> $ASM = \frac{FC - PWP}{100} \times RD$ (mm ή m <sup>3</sup> /στρ.)	63,45	77,55	98,70	105,75
<b>Πρακτική δόση άρδευσης</b> $Dn = \frac{ASM \times C \times P}{EFF}$ (mm ή m <sup>3</sup> /στρ.)	36,73	44,90	57,14	61,22
<b>Ωριαίο ύψος βροχής</b> $Dh = \frac{q \times n}{St \times Sr}$ (mm/h) όπου $n = \frac{St}{2 \times Se} = 0,097$	1,92	1,92	1,92	1,92
<b>Διάρκεια άρδευσης</b> $t = \frac{Dn}{Dh}$ (h)	19h 08'	23h 23'	29h 46'	31h 54'
<b>Εύρος άρδευσης</b> $D = \frac{Dn}{ETd}$ (ημέρες)	≈8	≈7	≈10	≈13

όπου: St=0,155m, Sr=0,75m, Se=0,8m, q=2,3l/h και EFF=0,95

### 5.13. Αποδοτικότητα χρήσης νερού

Το πόσο αποδοτική είναι μια άρδευση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως από την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιήθηκε από την καλλιέργεια, την ποσότητα του αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια και την ομοιομορφία της άρδευσης. Αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν το κόστος της άρδευσης, το σχεδιασμό της και την παραγωγικότητα της καλλιέργειας. Η αποδοτικότητα της χρήσης του νερού ή αλλιώς WUE

(water use efficiency) αποτελεί την πιο διαδεδομένη παράμετρο βάσει της οποίας μπορεί να αποδοθεί η αποτελεσματικότητα της άρδευσης συναρτήσει της παραγωγής της καλλιέργειας.

Ο Viets (1962) όρισε την αποδοτικότητα χρήσης νερού σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$WUE = \frac{Y_g}{ET} \quad [5.6]$$

όπου WUE είναι η αποδοτικότητα χρήσης νερού ( $\text{kg/m}^3$ ),  $Y_g$  είναι η οικονομική παραγωγή ( $\text{g/m}^2$ ) και ET είναι το συνολικό νερό που χρησιμοποιήθηκε από την καλλιέργεια (mm).

Η αποδοτικότητα χρήσης νερού εκφράζεται κυρίως από την οικονομική παραγωγή αλλά έχει επικρατήσει να εκφράζεται ως η παραγωγή σε ξηρή βιομάζα (Bos, 1979; Howell, 2001). Ο Monteith (1993) όρισε την WUE ως:

$$WUE = \frac{Y_g}{W_{total}} \quad [5.7]$$

όπου WUE είναι η αποδοτικότητα χρήσης νερού ( $\text{kg/m}^3$ ),  $Y_g$  είναι η παραγωγή ξηρής βιομάζας ( $\text{g/m}^2$ ) και  $W_{total}$  είναι η συνολική ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια (άρδευση, βροχόπτωση και συμβολή εδαφικής υγρασίας).

Οι δύο παραπάνω ορισμοί της WUE δεν περιγράφουν πλήρως την επίδραση της άρδευσης στην παραγωγή. Η WUE επηρεάζεται από την ποσότητα νερού που χρησιμοποίησε η καλλιέργεια (ET). Ο Bos (1979) εισήγαγε μια άλλη έκφραση για τον υπολογισμό της WUE, η οποία είναι:

$$WUE = \frac{(Y_{gi} - Y_{gd})}{(ET_i - ET_d)} \quad [5.8]$$

όπου WUE είναι η αποδοτικότητα χρήσης νερού ( $\text{kg/m}^3$ ),  $Y_{gi}$  είναι η οικονομική παραγωγή ( $\text{g/m}^2$ ) για επίπεδο άρδευσης  $i$ ,  $Y_{gd}$  είναι η παραγωγή ( $\text{g/m}^2$ ) για επίπεδο μηδενικής άρδευσης,  $ET_i$  είναι η εξατμισοδιαπνοή (mm) για επίπεδο άρδευσης  $i$  και  $ET_d$  είναι η εξατμισοδιαπνοή (mm) για επίπεδο μηδενικής άρδευσης. Συχνά σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, η τιμή του  $Y_{gd}$  είναι ίση με 0. Σε τέτοιες περιπτώσεις εφαρμόζεται η WUE της άρδευσης (IWUE). Η IWUE ορίζεται ως:

$$IWUE = \frac{(Y_{gi} - Y_{gd})}{IRR_i} \quad [5.9]$$

όπου IWUE είναι η αποδοτικότητα χρήσης νερού άρδευσης ( $\text{kg/m}^3$ ) και  $IRR_i$  είναι η ποσότητα νερού άρδευσης που εφαρμόστηκε (mm) για επίπεδο άρδευσης  $i$ . Στην εξίσωση 5.9 η τιμή της  $Y_{gd}$  είναι 0 για άνυδρες περιοχές.



#### **5.14. Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων**

Για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS version 23 για χρήση σε περιβάλλον Windows ενώ για τη συλλογή, την ομαδοποίηση και την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα υπολογιστικά φύλλα Excel του Microsoft Office version 2013.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Αποτελέσματα και Συζήτηση

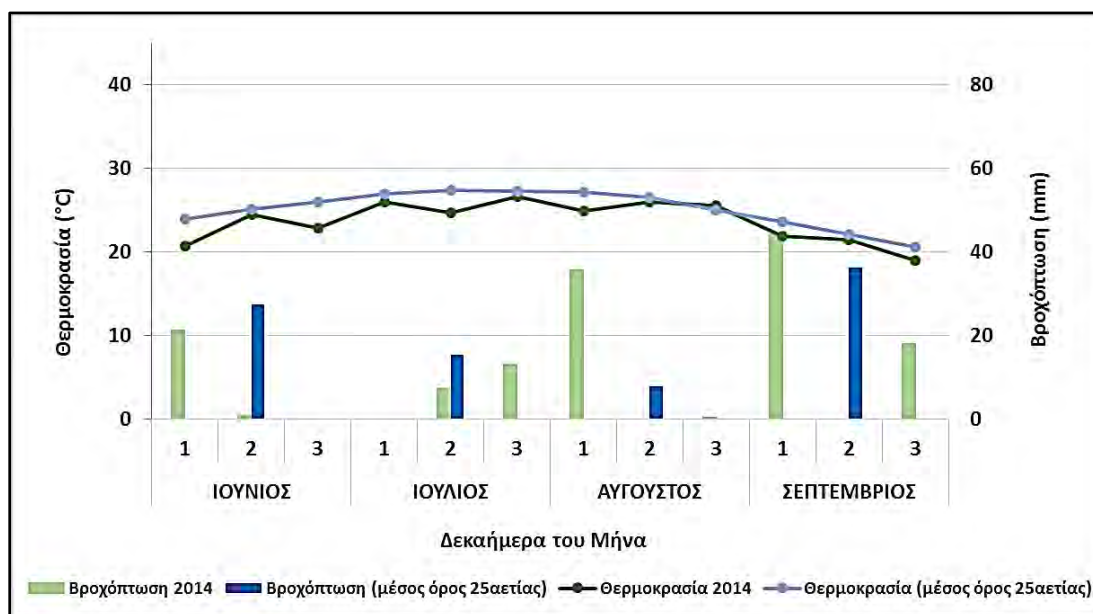
#### 6.1. Γενικά

Στον παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, τα οποία προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία και τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας και αφορούν το κλίμα της περιοχής, την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, τις ποσότητες νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια, το ύψος των φυτών, τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας, την παραγωγή των φυτών σε χλωρή, ξηρή βιομάζα (υπέργεια) και σε καρπό, την εξοικονόμηση νερού καθώς και την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή, ξηρή βιομάζα και σε καρπό.

#### 6.2. Κλιματικά δεδομένα

Παρακάτω, παρουσιάζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα κατά Bagnouls-Gaussen (Bagnouls και Gaussen, 1953), της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2014 (Ιούνιος-Σεπτέμβριος), βάσει των κλιματικών δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Απεικονίζεται επίσης, ως μέτρο σύγκρισης, ο μέσος όρος των τιμών της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης ανά δεκαήμερο για τα τελευταία 25 έτη.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η καλλιεργητική περίοδος του έτους 2014 χαρακτηρίζεται από περίπου ίσες μέσες θερμοκρασίες αέρος και υψηλότερη βροχόπτωση σε σχέση με τις μέσες τιμές θερμοκρασίας αέρος και βροχόπτωσης των τελευταίων 25 ετών.



Σχήμα 6.1. Ομβροθερμικό διάγραμμα της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2014.

Οι τιμές της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια των μηνών Ιουνίου, Ιουλίου, Αυγούστου και Σεπτεμβρίου ήταν στα 22,4mm, 20,6mm, 36,2mm και 62,6mm αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, κατά τα δύο τελευταία δεκαήμερα του Ιουνίου, το πρώτο δεκαήμερο του Ιουλίου, το δεύτερο και τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου και το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου, η συνολική βροχόπτωση ήταν αμελητέα. Το πρώτο δεκαήμερο του Ιουνίου, η βροχόπτωση καταγράφηκε ίση με 21,4mm, το τρίτο δεκαήμερο του Ιουλίου ίση με 13,2mm, το πρώτο δεκαήμερο του Αυγούστου ίση με 35,8mm και το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου ίση με 44,4mm. Η συνολική βροχόπτωση που καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2014, ήταν ίση με 141,8mm δηλαδή 55mm περισσότερα από τη μέση συνολική βροχόπτωση των τελευταίων 25 ετών, η οποία ήταν ίση με 86,8mm. Το Σεπτέμβριο η συνολική βροχόπτωση που καταγράφηκε ήταν κατά 72% περισσότερη από τη συνολική βροχόπτωση των τελευταίων 25 ετών για τον μήνα αυτό. Παρ' όλα αυτά δεν μπορούμε να ισχυριστούμε πως η αύξηση αυτή επέφερε σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγικότητα των φυτών, παράτεινε όμως την φυσική ξήρανση των σπαδικών και κατ' επέκταση την συγκομιδή της καλλιέργειας. Για το λόγο αυτό, η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε χειρωνακτικά και ακολούθησε τεχνητή ξήρανση στο ειδικό πυριαντήριο.

Τέλος, η μέση τιμή της θερμοκρασίας που για την καλλιεργητική περίοδο του 2014 ήταν 26,68°C, δεν διέφερε κατά πολύ από τη μέση τιμή της θερμοκρασίας των τελευταίων 25 ετών, η οποία ήταν ίση με 25,13°C.

Από την στατιστική ανάλυση δεν προκύπτουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% μεταξύ των τιμών της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας της καλλιεργητικής περιόδου του 2014 με τις αυτές των τελευταίων 25 ετών.

### 6.3. Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του 2014 (Ιούνιος-Σεπτέμβριος), βάσει των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

#### 6.3.1. Φυτικοί Συντελεστές

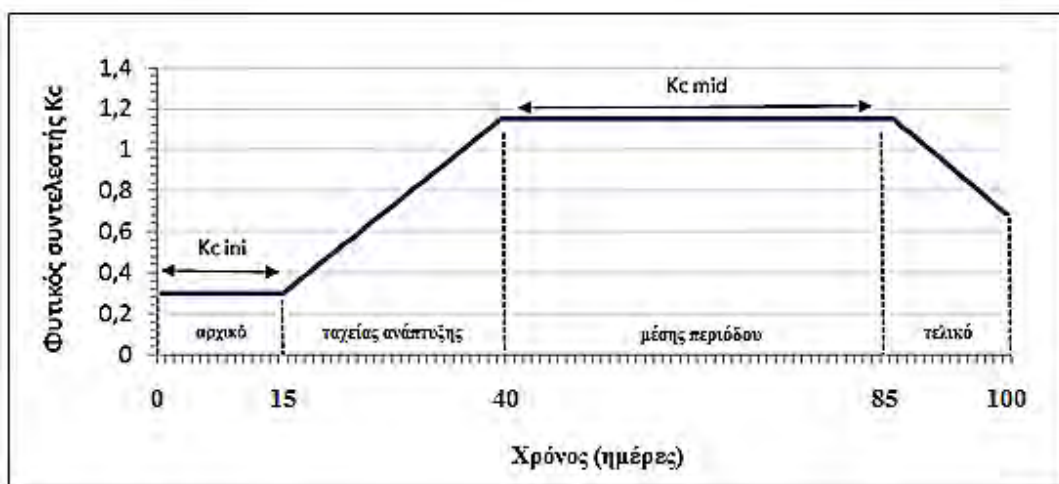
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας εξαρτάται από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και από το φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας. Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς υπολογιζόταν βάσει της μεθόδου του εξατμισιμέτρου τύπου A από τα δεδομένα που προέρχονταν από το εξατμισίμετρο που είναι εγκατεστημένο στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Η διάρκεια των σταδίων και ο φυτικός συντελεστής για το κάθε στάδιο της ανάπτυξης του αραβοσίτου δίδονται στον Πίνακα 6.1.

**Πίνακας 6.1.** Διάρκεια και φυτικός συντελεστής του κάθε σταδίου ανάπτυξης του αραβοσίτου για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Παπαζαφειρίου, 1999).

	Στάδιο ανάπτυξης				
	Αρχικό (ini)	Ανάπτυξης (dev)	Μεσαίο (mid)	Τελικό (end)	Σύνολο
Διάρκεια σε ημέρες	15	25	45	15	100
Φυτικός συντελεστής $K_c$	0,3		1,15	0,6	

Οι τιμές του φυτικού συντελεστή που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε ημέρα της καλλιεργητικής περιόδου, από το φύτευμα της καλλιέργειας του αραβοσίτου έως και τη συγκομιδή της, φαίνονται στο Σχήμα 6.2.



**Σχήμα 6.2.** Τιμές του φυτικού συντελεστή για κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

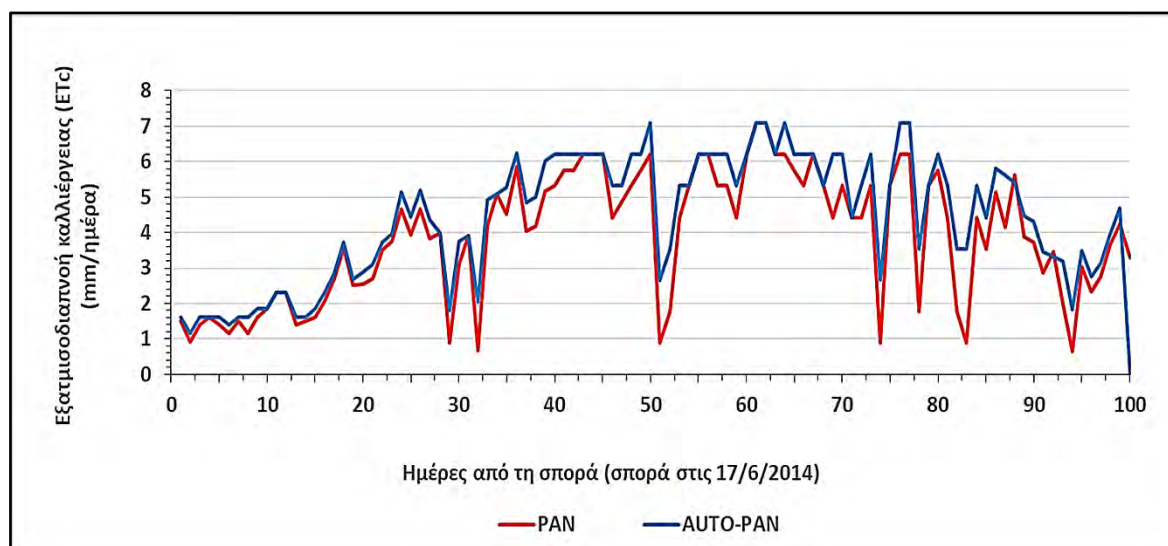
Ο ακριβής προσδιορισμός του κάθε σταδίου ανάπτυξης της καλλιέργειας στον αγρό, έγινε σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Παπαζαφειρίου, 1999; Allen et al., 1996).

### 6.3.2. Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 6.3 παρουσιάζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2014 όπως υπολογίστηκε με τη μέθοδο του απλού και αυτόματου εξατμισιμέτρου.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας φυσιολογικά αυξάνεται κατά τη διάρκεια του σταδίου ανάπτυξης και μειώνεται προς το στάδιο ωρίμανσης. Η υψηλότερη τιμή της εξατμισοδιαπνοής και στις δύο μεθόδους άρδευσης παρατηρήθηκε κατά την 228<sup>η</sup> ημέρα από την αρχή του έτους και είχε την τιμή 7,084mm. Η συνολική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας για τη μέθοδο άρδευσης του απλού εξατμισιμέτρου υπολογίστηκε ίση με 387,6mm, τιμή ελαφρώς μικρότερη και μη στατιστικώς σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% σε σχέση με τη συνολική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας για τη μέθοδο άρδευσης του αυτόματου εξατμισιμέτρου, η οποία ήταν ίση με 437,7mm.

Οι απότομες πτώσεις των τιμών της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας οφείλονται στις βροχοπτώσεις.



Σχήμα 6.3. Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του 2014.

#### 6.4. Εφαρμοζόμενη ποσότητα και εξοικονόμηση αρδευτικού νερού

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι ποσότητες του αρδευτικού νερού ανά μεταχείριση καθώς και η συνολική ποσότητα του νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια, η οποία εκφράζεται ως άθροισμα της ποσότητας του νερού άρδευσης και της ωφέλιμης βροχόπτωσης.

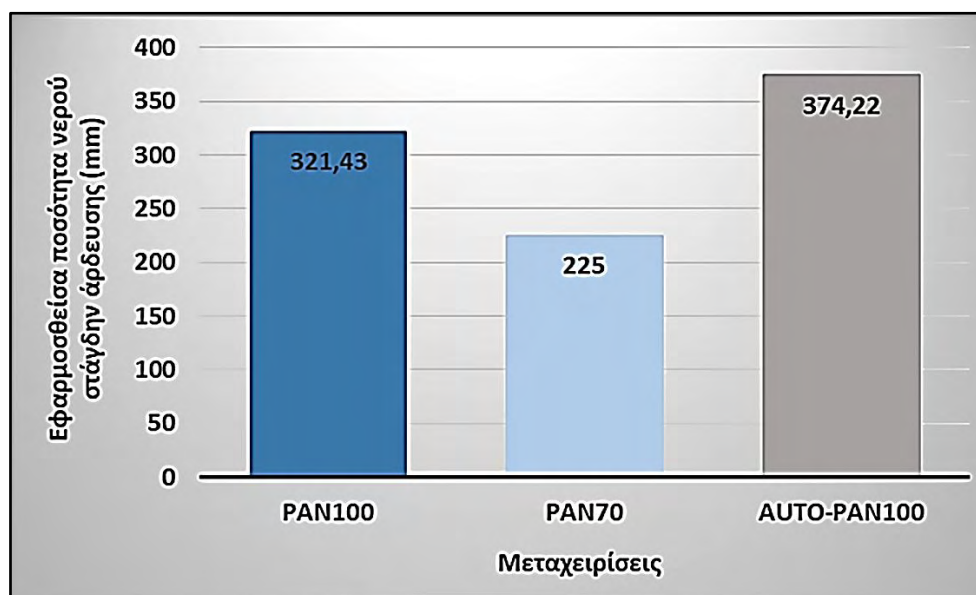
Πίνακας 6.2. Ποσότητες νερού (mm) των μεταχειρίσεων.

	Μεταχειρίσεις		
	PAN100	PAN70	AUTO-PAN100
Εφαρμοσθείσα ποσότητα νερού άρδευσης (mm)	321,43	225	374,22
Προφυτρωτική άρδευση (mm)	50	50	50
Ωφέλιμη βροχή (mm)	82,24	82,24	82,24
Σύνολο (mm)	453,67	357,24	506,46

Οι ποσότητες του νερού άρδευσης που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα, προέκυψαν από το άθροισμα της ποσότητας του νερού που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια με τη μέθοδο του καταιονισμού και της ποσότητας που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια με τη μέθοδο της επιφανειακής στάγδην άρδευσης. Η συνολική ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε με τη μέθοδο του καταιονισμού σε όλες τις μεταχειρίσεις, ήταν ίση με 50mm.

Η συνολική ποσότητα νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια, ισούται με το άθροισμα της ποσότητας του νερού που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια μέσω της άρδευσης και της ποσότητας

νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια μέσω της ωφέλιμης ή ενεργούς βροχόπτωσης. Η ωφέλιμη ή ενεργός βροχόπτωση ήταν ίση με 82,24mm.



Σχήμα 6.4. Εφαρμοσθείσες ποσότητες νερού στάγδην άρδευσης (mm).

Στο Σχήμα 6.4 παρουσιάζονται οι συνολικές ποσότητες νερού που εφαρμόστηκαν στην στάγδην άρδευση όπως αυτές προέκυψαν από τις καταγραφές των υδρομέτρων. Στις ποσότητες αυτές δεν συμπεριλαμβάνεται ούτε η άρδευση που εφαρμόστηκε με καταιονισμό στο αρχικό στάδιο φυτρώματος της καλλιέργειας αλλά ούτε η ωφέλιμη ή ενεργός βροχόπτωση.

Στην μεταχείριση AUTO-PAN100 εφαρμόστηκαν συνολικά 374mm νερού μέσω της άρδευσης ενώ στις μεταχειρίσεις PAN100 και PAN70 εφαρμόστηκαν συνολικά 321,43mm και 225mm νερού αντίστοιχα. Από την στατιστική ανάλυση οι μεταχειρίσεις PAN100 και AUTO-PAN100 δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Στατιστικώς σημαντικά όμως διαφορές υπάρχουν μεταξύ των μεταχειρίσεων PAN70 και AUTO-PAN100.

Ο μέσος όρος εξοικονόμησης νερού που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή επιφανειακής ελλειμματικής στάγδην άρδευσης στο 70% της ETc μεταξύ των μεταχειρίσεων PAN100 - PAN70 και PAN70 - AUTO-PAN100 ήταν 30% και 39,9% αντίστοιχα.

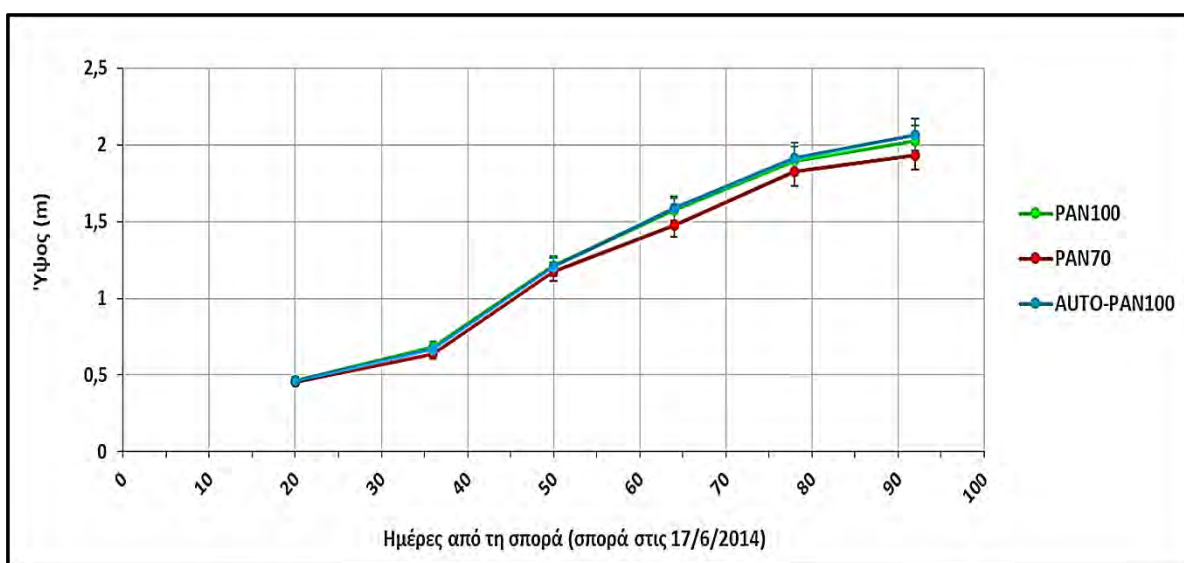
## 6.5. Ύψος φυτών

Στο Σχήμα 6.5 παρουσιάζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών του αραβοσίτου στις διάφορες μεταχειρίσεις.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του 2014 η μεταχείριση AUTO-PAN100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπολοίπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος φυτών παρατηρήθηκε 92 ημέρες μετά από τη σπορά στη μεταχείριση AUTO-PAN100. Ακολουθούσε η μεταχείριση PAN100 και η μεταχείριση PAN70.

**Πίνακας 6.3.** Μέσοι όροι των μετρήσεων του ύψους των φυτών (m) στις μεταχειρίσεις.

Ημερομηνία μετρήσεων	Ημέρες από τη σπορά	Μεταχειρίσεις		
		PAN100	PAN70	AUTO-PAN100
8/7/2014	20	0,4625	0,457	0,465
22/7/2014	36	0,684	0,635	0,671
5/8/2014	50	1,212	1,173	1,204
19/8/2014	64	1,574	1,474	1,586
2/9/2014	78	1,893	1,824	1,915
16/9/2014	92	2,023	1,934	2,065



**Σχήμα 6.5.** Εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις PAN100, PAN70 και AUTO-PAN100.

Από την στατιστική ανάλυση δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ως προς το ύψος των φυτών μεταξύ των μεταχειρίσεων. Οι γραμμές σφάλματος που απεικονίζονται εκφράζουν 5% πιθανά θετικά και αρνητικά ποσά σφάλματος στα αποτελέσματα του πειράματος.



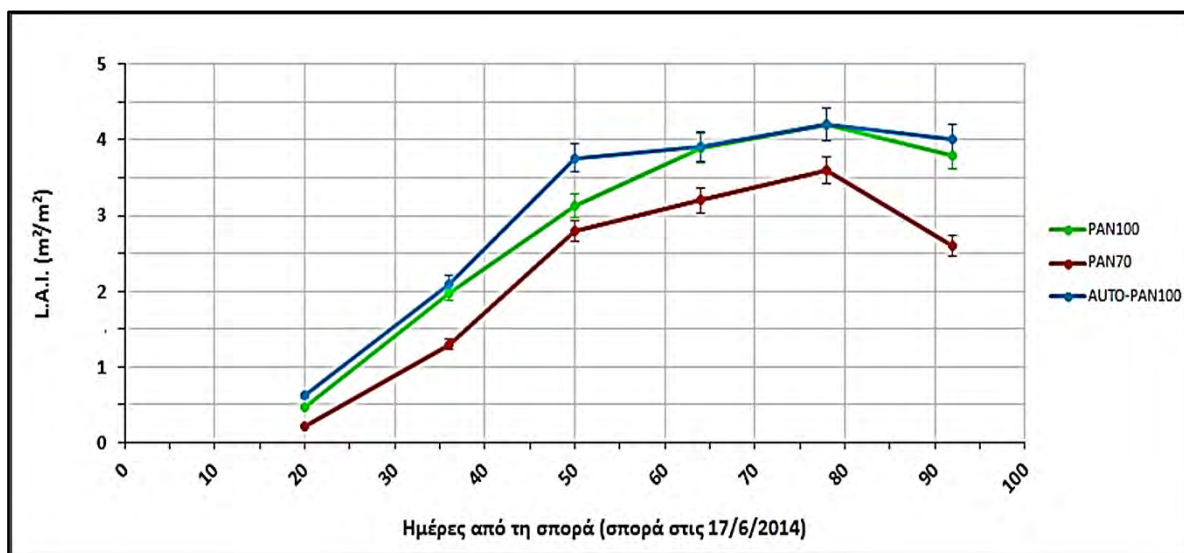
## 6.6. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας

Παρακάτω στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) στις διάφορες μεταχειρίσεις.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του 2014 οι μεταχειρίσεις AUTO-PAN100 και PAN100 παρουσίασαν μια τάση υπεροχής έναντι της μεταχείρισης PAN70. Ειδικότερα, οι υψηλότερες τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας παρατηρήθηκαν 78 ημέρες μετά τη σπορά στις μεταχειρίσεις AUTO-PAN100 και PAN100.

**Πίνακας 6.4.** Μέσοι όροι των μετρήσεων του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών ( $\text{m}^2/\text{m}^2$ ) στις μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις		
Ημερομηνία μετρήσεων	Ημέρες από τη σπορά	PAN100	PAN70	AUTO-PAN100
8/7/2014	20	0,47	0,2	0,62
22/7/2014	36	1,97	1,3	2,1
5/8/2014	50	3,1	2,8	3,76
19/8/2014	64	3,9	3,2	3,92
2/9/2014	78	4,2	3,6	4,2
16/9/2014	92	3,8	2,6	4



**Σχήμα 6.6.** Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) των φυτών στις μεταχειρίσεις PAN100, PAN70 και AUTO-PAN100.

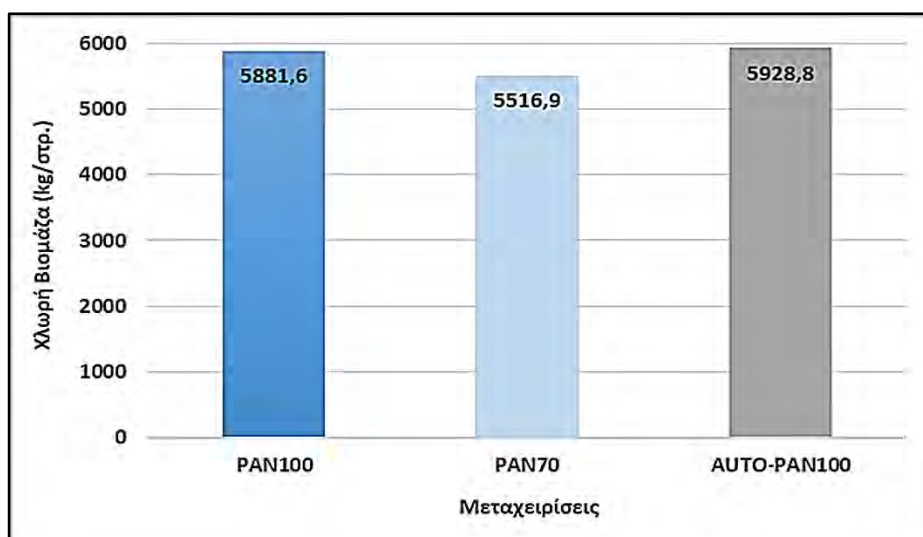
Από την στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι οι μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο

εμπιστοσύνης 95%. Οι γραμμές σφάλματος που απεικονίζονται εκφράζουν 5% πιθανά θετικά και αρνητικά ποσά σφάλματος στα αποτελέσματα του πειράματος.

## 6.7. Παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας

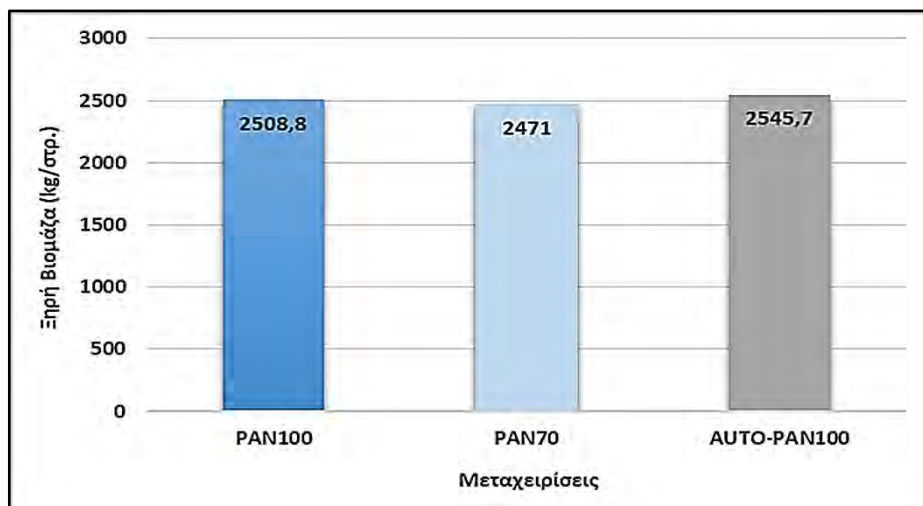
Παρακάτω παρουσιάζονται με γραφήματα οι τιμές της χλωρής και ξηρής βιομάζας του υπέργειου μέρους των φυτών για τις διάφορες μεταχειρίσεις εκφρασμένες σε kg/στρ..

Στο Σχήμα 6.7 η χλωρή βιομάζα της μεταχείρισης PAN100 ανέρχεται στα 5881,6kg/στρ., της μεταχείρισης PAN70 στα 5516,9kg/στρ. και της μεταχείρισης AUTO-PAN100 στα 5928,8kg/στρ.. Στατιστικώς σημαντικές διαφορές δεν υπάρχουν σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.



Σχήμα 6.7. Παραγωγή χλωρής βιομάζας της καλλιέργειας σε kg/στρ. ανά μεταχείριση.

Στο Σχήμα 6.8 η ξηρή βιομάζα της μεταχείρισης PAN100 ανέρχεται στα 2508,8kg/στρ., της μεταχείρισης PAN70 στα 2471kg/στρ. και της μεταχείρισης AUTO-PAN100 στα 2545,7kg/στρ.. Στατιστικώς σημαντικές διαφορές δεν υπάρχουν σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.



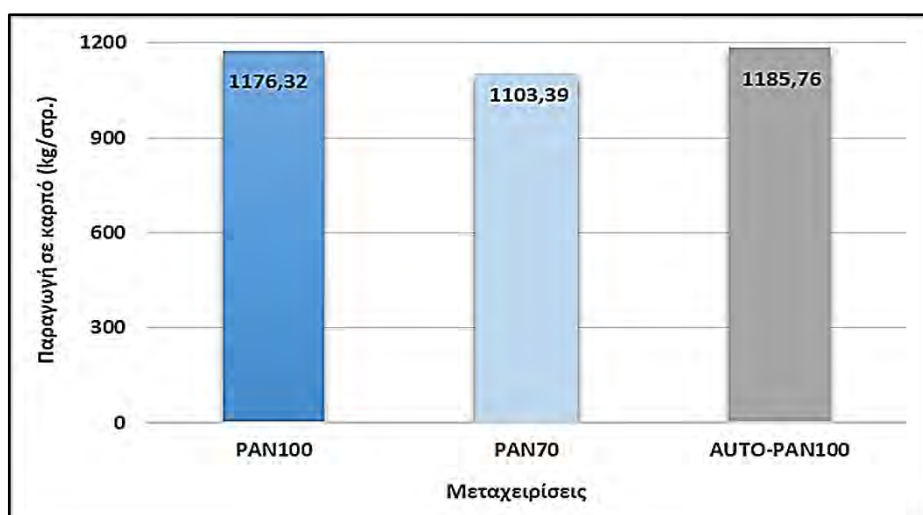
Σχήμα 6.8. Παραγωγή ξηρής βιομάζας της καλλιέργειας σε kg/στρ. ανά μεταχείριση.

## 6.8. Παραγωγή σε καρπό

Στο Σχήμα 6.9 παρουσιάζεται η παραγωγή σε καρπό (kg/στρ.) της καλλιέργειας που μελετήθηκε, για τις διάφορες μεταχειρίσεις.

Παρατηρείται ότι η μεταχείριση AUTO-PAN100 δίνει τη μεγαλύτερη παραγωγή καρπού (1185,76kg/στρ.). Ακολουθεί η μεταχείριση PAN100 (1176,32kg/στρ.) και τρίτη η μεταχείριση PAN70 (1103,39kg/στρ.).

Από την στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι οι μεταχειρίσεις δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

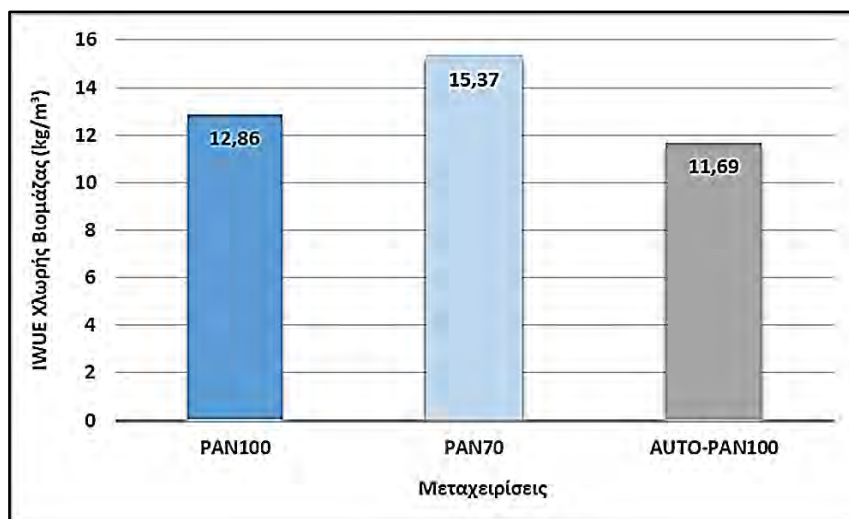


Σχήμα 6.9. Παραγωγή σε καρπό της καλλιέργειας σε kg/στρ. ανά μεταχείριση.

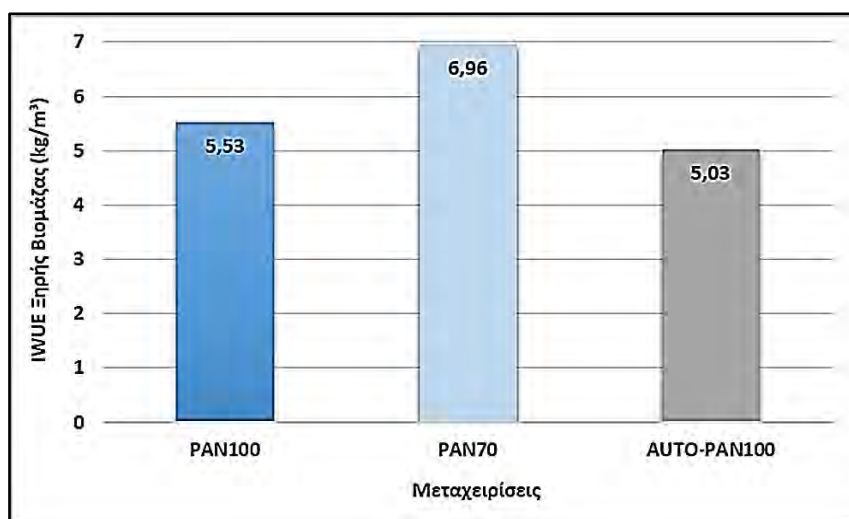
## 6.9. Αποδοτικότητα χρήσης νερού

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας στις διάφορες μεταχειρίσεις βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα και της παραγωγής σε καρπό, τα οποία προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

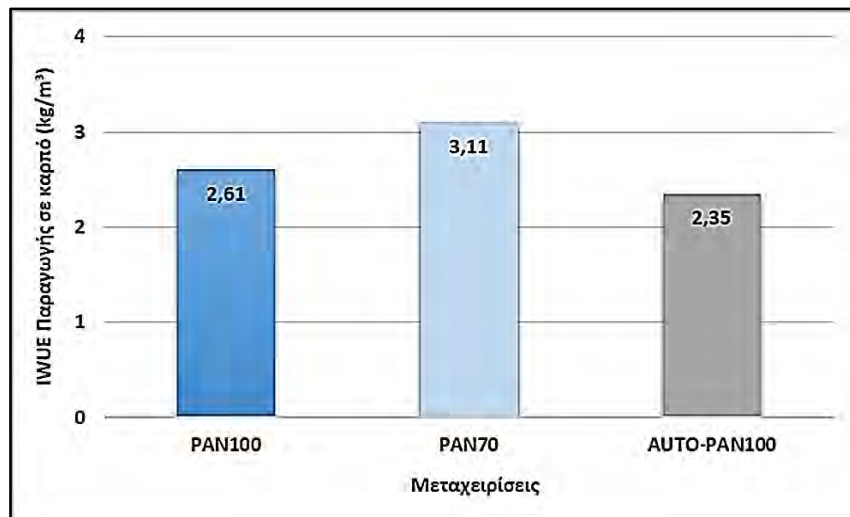
Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Bos (όπως περιεγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο) με αριθμητή την παραγωγή χλωρής βιομάζας ή την παραγωγή ξηρής βιομάζας ή την παραγωγή σε καρπό της κάθε μεταχείρισης αντίστοιχα για κάθε περίπτωση και παρονομαστή την ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε συνολικά στην μεταχείριση.



**Σχήμα 6.10.** Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα ( $\text{kg/m}^3$ ) σε κάθε μεταχείριση.



**Σχήμα 6.11.** Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα ( $\text{kg/m}^3$ ) σε κάθε μεταχείριση.



**Σχήμα 6.12.** Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε καρπό (kg/m³) σε κάθε μεταχείριση.

Από την μελέτη της αποδοτικότητας χρήσης αρδευτικού νερού (IWUE) προκύπτει ότι η επιφανειακή ελλειμματική στάγδην άρδευση εφαρμόζει αποδοτικότερα το νερό της άρδευσης λόγω αποδοτικότερης χρήσης του διαθέσιμου νερού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα

Τελικός σκοπός της εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης της επιφανειακής ελλειμματικής στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και απόδοση καλλιέργειας αραβοσίτου (*Zea mays L.*) ποικιλίας NK Cisko, αλλά και η αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της εξοικονόμησης της χρήσης του αρδευτικού νερού.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε πειραματικό αγρό αμμοαργιλώδους υφής του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή Βελεστίνου, του νομού Μαγνησίας. Στον συγκεκριμένο πειραματικό αγρό πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση του επιφανειακού συστήματος στάγδην άρδευσης καθώς και η τοποθέτηση του συστήματος πλήρους αυτοματοποίησης της επιφανειακής στάγδην άρδευσης. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε την καλλιεργητική περίοδο του 2014.

Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε ήταν πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων με τρεις μεταχειρίσεις σε τέσσερις επαναλήψεις. Οι μεταχειρίσεις που εφαρμόστηκαν ήταν:

- επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος του απλού εξατμισιμέτρου τύπου Α στο 100% της πραγματικής ημερήσιας ETc (PAN100)
- επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος του απλού εξατμισιμέτρου τύπου Α στο 70% της πραγματικής ημερήσιας ETc (PAN70)
- επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος του αυτόματου εξατμισιμέτρου τύπου Α στο 100% της πραγματικής ημερήσιας ETc (AUTO-PAN100).

Ειδικός εξοπλισμός χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση των μεταχειρίσεων. Οι μεταχειρίσεις PAN100 και PAN70 αρδεύονταν με τη χρήση απλού εξατμισιμέτρου τύπου Α και προγραμματιστή άρδευσης. Η άρδευση όμως της μεταχείρισης AUTO-PAN100 γινόταν πλήρως αυτοματοποιημένα με τη χρήση αυτόματου εξατμισιμέτρου τύπου Α και data logger.

Τα χαρακτηριστικά των φυτών που μετρήθηκαν ήταν το ύψος του βλαστού των φυτών, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.), η χλωρή και ξηρή βιομάζα των βλαστών και η απόδοση σε καρπό. Η παρακολούθηση αυτών των χαρακτηριστικών γινόταν με διαδοχικές μετρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια ανάπτυξης της καλλιέργειας, ενώ ο προσδιορισμός της τελικής παραγωγής σε βιομάζα και καρπό έγινε με δειγματοληψία κατά την φυσιολογική ωρίμανση.

Η εξοικονόμηση νερού που παρατηρήθηκε από την εφαρμογή επιφανειακής ελλειμματικής στάγδην άρδευσης ήταν σημαντική. Ο μέσος όρος εξοικονόμησης νερού μεταξύ των μεταχειρίσεων PAN100 - PAN70 και PAN70 - AUTO-PAN100 ήταν 30% και 39,9% αντίστοιχα. Επίσης, το νερό χρησιμοποιήθηκε αποδοτικότερα από την καλλιέργεια με την εφαρμογή της επιφανειακής ελλειμματικής στάγδην άρδευσης.

Μείωση της δόσης άρδευσης κατά 30% εξασφαλίζει μέση παραγωγή ξηρής βιομάζας αραβοσίτου 2471kg/στρ. και μέση παραγωγή καρπού 1103,39kg/στρ..

Η καλλιέργεια του αραβοσίτου στην Ελλάδα μπορεί να αποφέρει ακόμη σημαντικότερα κέρδη στον παραγωγό όταν με την εφαρμογή κατάλληλων καλλιεργητικών πρακτικών μειωθούν οι δαπάνες παραγωγής.

Τέλος, η χρήση αυτοματοποιημένων μεθόδων άρδευσης έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως τη μείωση μετακινήσεων από και προς τον αγρό, τη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού και την αποφυγή καταναλισκόμενης ενέργειας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

Ασημιάδης, Σ. 1982. Το καλαμπόκι και η καλλιέργεια του. Σύγχρονη γεωργική τεχνολογία 7:19-22.

Γαλανοπούλου-Σενδούκα, Σ. 1998. Ειδική Γεωργία Ι. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.

Δαλιάνης, Δ.Κ. 1999. Ανοιξιάτικα σιτηρά. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

Ινστιτούτο Σιτηρών. Καλαμπόκι-Έδαφος. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός Δήμητρα. Available at: <http://www.cerealinstitute.gr/index.php/el/>

Καραμάνος, Α. 1992. Τα σιτηρά των Εύκρατων Κλιμάτων. Ανωτάτη Γεωπονική Σχολή Αθηνών, Αθήνα.

Καραμάνος, Α.Ι. 1999. Τα σιτηρά των θερμών κλιμάτων. Αραβόσιτος-Σόργο-Ρύζι-Κεχρί. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.

Μήτσιος, Ι.Κ. 2000. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.

Παπαζαφειρίου, Ζ. 1994. Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 196-217.

Παπαζαφειρίου, Ζ., 1999. Οι ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 3-291, 347.

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ. 1996. Άρδευση με σταγόνα. Άρδευση με αυλάκια. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Βλάχος, Β. και Παπανικολάου, Χ. 2006. Επίδραση διαφορετικών διατάξεων στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και απόδοση του βάμβακος. Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Πανελλήνιου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), 13-16 Δεκεμβρίου, Ξάνθη, σελ. 637-644.



Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Παπανικολάου, Χ., Πατελοδήμου, Σ. 2007. Υπόγεια άρδευση σε καλλιέργεια βαμβακιού με διαφορετικές δόσεις άρδευσης. Πρακτικά 5<sup>ου</sup> Πανελλήνιου Συνεδρίου της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας (ΕΓΜΕ), 18-20 Οκτωβρίου, Λάρισα, σελ. 173-180.

Σφήκας, Α. 1991. Ειδική γεωργία Ι. Υπηρεσία δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Syngenta 2017. Καλαμπόκι 2017 - Τεχνικό Εγχειρίδιο Καλλιέργειας. Syngenta Hellas.

Τερζίδης, Γ. και Παπαζαφειρίου, Ζ. 1997. Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία**

- Abedinpour, M. and Sarangi, A. 2013. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize growth in semi-arid environment. *World Applied Sciences Journal* 21(11):1687-1692.
- Adeoye, O.A. and Agboola, A.A. 1985. Critical level of soil plant available P, K, Zn and Mg on maize leaf content of P, Cu and Mn sedimentary soils of S/W Nigeria. *Fertilizer Research*, 6(91):6-7.
- Akram, M., Ashraf, M.Y., Ahmad, R., Waraich, E.A., Iqbal, J. and Mohsin, M. 2010. Screening for salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) Hybrids At An Early Seedling Stage. *Pak. J. Bot.*, 42(1):141-154.
- Al-Kaisi, M.M., Yin, X., 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agron. J.*, 95:1475-1482.
- Allen, B.L. 2012. Dryland corn yield affected by row configuration and seeding rate in the northern Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(1):32-41.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO Irrigation and Drainage, 56:1-194.
- Araya, A., Kisekka, I., Gowda, P.H., Vara Prasad, P.V. 2017. Evaluation of water-limited cropping systems in a semi-arid climate using DSSAT-CSM. *Agricultural Systems* 150:86-98.
- Aydinsakir, K., Dinc, N., Buyuktas, D., Bastug, R. and Toker, R. 2016. Assessment of Different Irrigation Levels on Peanut Crop Yield and Quality Components under Mediterranean Conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Volume 142, Issue 9.
- Aydinsakir, K., Erdal, S., Buyuktas, D., Bastug, R. and Toker, R. 2013. The influence of regular deficit irrigation applications on water use, yield, and quality components of two corn (*Zea mays* L.) genotypes. *Agricultural Water Management*, 128:65-71.

- Baber, S.A., Bashir, W., Loangove, M.A. 2015. Influence of Different Irrigation Scheduling Practices on The Growth and Yield Performance of Maize (*Zea mays* L.) Variety Agaiti-2002. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(1):168-173.
- Bagnouls, F. and Gaussen, H. 1953. Saison seche et indice xerothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. de Toulouse*, 88:193-240.
- Belfield, S. and Brown, C. 2008. *Field Crop Manual: Maize-A Guide to Upland Production in Cambodia*. NSW Department of Primary Industries.
- Benjamin, J.G., Nielsen, D.C., Vigil, M.F., Mikha, M.M., Calderon, F. 2015. Cumulative deficit irrigation effects on corn biomass and grain yield under two tillage systems. *Agricultural Water Management*, 159:107-114.
- Bhattarai, S., McHugh, J., Lotz, G. and Midmore, D. 2003. Physiological responses of cotton to subsurface drip irrigation on heavy clay soil. Pp. 1-3. <http://www.regional.org.au>.
- Birch, C.J., Hammer, G.L. and Rickert, K.G., 1998. Temperature and photoperiod sensitivity of development in five cultivars of maize (*Zea mays* L.) from emergence to tassel initiation. *Field Crops Res.*, 55:93-107.
- Bonhomme, R., Derieux, M., Kiniry, J.R. Edmeades, G. O., Ozier-Lafontaine, H. 1991. Maize leaf number sensitivity in relation to photoperiod in multilocation field trials. *Agronomy Journal*, 83:153-157.
- Bos, M.G. 1979. Standards for Irrigation Efficiencies of ICID. *J. Irrig. Drain. Div.*, 105:37-43.
- Bouazzama, B., Xanthoulis, D., Bouaziz, A., Ruelle, P., Mailhol, J.C. 2012. Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in semi-arid climate of Tadla (Morocco). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 14(4):468-477.
- Bracy, R.P., Edling, L.R. and Moser, B.E. 1995. Drip-irrigation management and fertilization of bell pepper in a humid area. In *Proc. 5<sup>th</sup> International Microirrigation Congress*, ed. F.R. Lamm. St. Joseph, Mich.: ASAE, pp. 181-186.
- Bradley, K. W. 2006. A review of the effects of row spacing on weed management in corn and soybean. Online. *Crop Management*.

- Caldwell, D.S., Spurgeon, E.W. and Manges, L.H. 1994. Frequency of irrigation for subsurface drip-irrigated corn. *ASAE Trans.*, 37(4):1099-1103.
- Camp, C.R. 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *ASAE Trans.*, 41(5):1353-1367.
- Camp, R.C. and Lamm, L.F. 2008. Irrigation Systems: Subsurface Drip. In Trimble, W.S., "Encyclopedia of Water Science" 2<sup>nd</sup> Edition. CRC Press Taylor & Francis Group, pp. 633-637.
- Camp, C.R., Sadler, J.E. and Busscher, J.W. 1989. Subsurface and alternate-middle micro irrigation for the southeastern coastal plain. *ASAE Trans.*, 32(2):451-456.
- Campbell, R.B. and Phene, C.J. 1976. Estimating potential evapotranspiration from screened pan evaporation. *Agr. Meteorol.*, 16:343-352.
- Campbell, G.S. 1986. Extinction coefficients for radiation in plant canopies using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agricultural and Forest Meteorology*, 36:317-321.
- Chaves, M.M., Santos, T.P., Souza, C.R., Ortuño, M.F., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Ann. Appl. Biol.* 150:237-252.
- Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by sprinkling. Berkeley, CA: University of California.
- Cicek, N. and Cakirlar, H. 2002. The effect of salinity on some physiological parameters in two maize cultivars. *Bulgarian J. Plant Physiol.*, 28:66-74.
- Cicogna, A., Dietrich, S., Gani, M., Giovanardi, R., Sandra, M. 2005. Use of meteorological radar to estimate leaf wetness as data input for application of territorial epidemiological model (downy mildew - *Plasmopara viticola*): agrometeorology 2003. *Phys. Chem. Earth* 30:201-207.
- Coelho, D.T., Dale, R.F. 1980. An energy-crop growth variable and temperature function for predicting maize growth and development: planting to silking. *Agronomy Journal*, 72:503-510.
- Corn Agronomy, 2006. Grain Harvesting. University of Wisconsin Available at: <http://corn.agronomy.wisc.edu/>
- Cui, N., Du, T., Kang, S., Li, F., Zhang, J., Wang, M., Li, Z. 2008. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees. *Agr. Water Manage.* 95:698-706.

- Curt, M.D., Fernandez, J. and Martinez, M. 1995. Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. "Keller" in relation to water regime. *Biomass Bioenergy*, 8(6):401-409.
- Davies, W.J., Bacon, M.A., Thompson, D.S., Sobeih, W., Rodriguez, L.G. 2000. Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants chemical signalling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. *Journal of Experiment Botany*, 51:1617-1626.
- Decras, N. and Liakatas, A. 2006. Water and Radiation Effect on Sorghum Productivity. *Water Resources Management*, pp. 1-15.
- DeTar, W.R. 2008. Yield and growth characteristics for cotton under various irrigation treatments on sandy soil. *Agric. Water Manag.*, 95:69-76.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Papers* 33. FAO, Rome, Italy.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements, FAO-ONU, *Irrigation and Drainage Paper* no. 24 (rev.), pp. 144, Rome.
- Dry, P.R., Loveys, B.R., Botting, D., During, H. 1996. Effect of partial rootzone drying on grapevine vigour, yield, composition of fruit and use of water. In *proceedings of the 9th Australian Wine Industry Technical Conference*, pp. 128-131.
- Du, T., Kang, S., Sun, J., Zhang, X., Zhang, J., 2010. An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China. *Agr. Water Management* 97(1):66-74.
- Elmore, R. and Abendroth, L. 2008. Seeding Rates in Relation to Maximum Yield and Seed Costs. *Integrated Crop Management News and Iowa State University Extension*. Available at: <http://www.extension.iastate.edu/CropNews/>
- English, M. 1990. Deficit irrigation. I. Analytical framework. *J. Irrig. Drain E. ASCE* 116:399-412.
- Espinoza, L. and Ross, J. Undated. *Corn Production Handbook*. University of Arkansas Extension Service.

- Evans, R., Sheed, R.E., Cassel, D.K. 1996. Irrigation scheduling to improve water and energy use efficiencies. North Carolina Cooperative Extension Service.
- FAO, 1998. Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage, Paper No 24, Rome.
- FAO, 2002. Deficit Irrigation Practices. Water Reports No. 22, Rome.
- FAO, 2005. Grassland Species Profiles. Detailed descriptions and photos of more than 600 grassland species. FAO Publications.
- Faustino, F. C., Garcia, R. N., Agtarap, M. L., Tecson-Mendoza, E.M., Lips, S.H. 2000. Salt tolerance in corn: growth responses, ion accumulation, nitrate reductase and PEP-carboxylase activities. *Philippine Journal of Crop Science*, 25(1)17-26.
- Fereres, E., Soriano, M.A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Special issue on “Integrated approaches to sustain and improve plant production under drought stress” *J. Exp. Bot.* 58:147-159.
- Filintas, A., Dioudis, P., Hatzopoulos, J. and Karantounias, G. 2008. Irrigation effects in Maize yield, plant stress and GIS integrated modelling of available soil moisture. In: Proc. of International Conference “Studying, Modeling and Sense Making of Planet Earth”, June 1-6, University of the Aegean, Department of Geography, Mytilene, Lesvos, Greece, pp.1-8.
- Freeman, J.C., Thorburn, J.P., Fitch, P. and Bristow L.K. 2003. WetUp: a software tool to display approximate wetting patterns from drippers. *Irrigation Science*, 22:129-134.
- Garabet, S., Wood, M., Ryan, J. 1998. Nitrogen and water effects on wheat yield in a Mediterranean-type climate. I. Growth, water-use and nitrogen accumulation. *Field Crop Res.* 57:309-318.
- Geerts, S. and Raes, D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agr. Water Management* 96:1275-1284.
- Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., Taboada, C. 2008. Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Eur. J. Agron.*, 28:427-436.
- Gökmen, S., Sencar, O., Sakin, M.A. 2001. Response of popcorn (*Zea mays everta*) to nitrogen rates and plant densities. *Turk. J. Agric. For.*, 25:15-23.

- Goodwin, I. 2000. Construction of an evaporation pan for irrigation scheduling. *Irrigated Agriculture*, pp. 1-5. Tatura.
- Guilin, W., Kang, M. S. and Moreno, O. 1999. Genetic analyses of grain filling rate and duration in maize. *Field Crops Research* 61:211-222.
- Hannaway, D.B. and Larson, C. 2004. Corn (*Zea mays* L.). The Forage Information System- Oregon State University. Available at: <http://forages.oregonstate.edu/>
- Hanson, B. and May, D. 2004. Effect of subsurface drip irrigation on process tomato yield, water table depth, soil salinity and profitability. *Agricultural Water Management*, 68(1):1-17.
- Hardacre, A.K., Turnbull, H.L. 1986. The growth and development of maize (*Zea Mays* L.) at 5 temperatures. *Ann. Bot.-London*, 58:779-787.
- Heininger, R.W. 2011. How Soil pH Affects Wheat and Corn Yields. NC State University.
- Howell, T.A. 2001. Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture. *Agronomy Journal* 93:281-289.
- Howell, T., Evett, S., Tolk, J., Schneider, A., Steiner, J., 1996. Evapotranspiration of corn Southern high plains. In: *Proceedings of the International Conference on Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, Nov. 3-6. American Society of Agricultural and Biological Engineers, San Antonio, TX, USA.
- Howell, T.A., Schneider, D.A. and Evett, R.S. 1997. Subsurface and surface microirrigation of corn-Southern High Plains. *ASAE Trans.*, 40(3):635-641.
- Howell, T.A., Tolk, J.A., Schneider, A.D. and Evett, S.R. 1998. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of corn hybrids different in maturity. *Agronomy Journal*, 90:3-9.
- Howell, T.A., Schneider, D.A. and Stewart, A.B. 1995. Subsurface and surface microirrigation of corn-US Southern High Plains. In *Proc. 5<sup>th</sup> International Microirrigation Congress*, ed. F.R. Lamm. St. Joseph, Mich. ASAE, pp. 375-381.
- Hueso, J. and Cuevas, J. 2008. Loquat as a crop model for successful deficit irrigation. *Irrig. Sci.* 26:269-276.

- Hunter, R.B., Tollenaar, M., Breuer, C.M. 1977. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive growth of a maize (*Zea mays*) hybrid. *Can J Plant Sci.*, 57:1127-1133.
- İlbeyi, A., Ustun, H., Oweis, T., Pala, M., Benli, B., 2006. Wheat water productivity and yield in a cool highland environment: Effect of early sowing with supplemental irrigation. *Agr. Water Manag.*, 82:399-410.
- Iniesta, F., Testi, L., Goldhamer, D.A., Fereres, E. 2008. Quantifying reductions in consumptive water use under regulated deficit irrigation in pistachio (*Pistacia vera* L.). *Agr. Water Manage.* 95:877-886.
- Iowa State University, 2001. Corn Planting Guide. Iowa State University Extension Service.
- Johnson, R. 2011. Corn—What Seeding Rate to Use. University of Delaware Kent County Agricultural Extension. Available at:  
<https://extension.udel.edu/kentagextension>
- Kang, S., Liang, Z., Hu, W., Zhang, J. 1998. Water use efficiency of controlled root division alternate irrigation on root divided maize plants. *Agr. Water Management*, 38:69-76.
- Kara, T., Biber, C. 2008. Irrigation frequencies and corn (*Zea mays* L.) yield relation in northern Turkey. *Pakistan journal of biological sciences*, 11(1):123-126.
- Karasu, A., Kuşçu, H. and Öz, M. 2015. Yield and economic return response of silage maize to different levels of irrigation water in a sub-humid zone. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(3):313-318.
- Kipkorir, E.C., Raes, D., Labadie, J. 2001. Optimal allocation of short-term irrigation supply. *Irrig. Drain Syst.* 15:247-267.
- Kirda, C., Kanber, R., Tulucu, K., Gungo, H. 1999. Yield response of cotton, maize, soybean, sugar beet, sunflower and wheat to deficit irrigation. In: Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C., Nielsen, D.R. (Eds.), *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, pp. 21-38.
- Kranz, W.L., Irmak, S., Van Donk, J., Yonts, C.D., Martin, D.L. 2008. *Irrigation Management for Corn*. NebGuide. University of Nebraska - Lincoln Extension.



- Kresović, B., Tapanarova, A., Tomić, Z., Životić, L., Vujović, D., Sredojević, Z., Gajić, B. 2016. Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. *Agricultural Water Management*, 169:34-43.
- Lamm, F. R. and Trooien, T.P. 2003. Subsurface drip irrigation for corn production: A review of 10 years of research in Kansas. *Irrig. Sci.*, 22:195-200.
- Lamm, F.R. Manges, L.H., Stone, R.L., Khan, H.A. and Rogers, H.D. 1995. Water requirement of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansas. *Trans. ASAE* 38(2):441-448.
- Larson, K., Thompson, D. and Harn, D. 2001. Limited and Full Irrigation Comparison for Corn and Grain Sorghum. Colorado State University.
- Lee, C. 2009. Corn Seeding Rates, 2004-2008: Research Update. University of Kentucky. Available at: <http://www.uky.edu/Ag/GrainCrops/welcome.htm>.
- Liu, H., Wang, X., Zhang, X., Zhang, L., Li, Y., Huang, G. 2017. Evaluation on the responses of maize (*Zea mays* L.) growth, yield and water use efficiency to drip irrigation water under mulch condition in the Hetao irrigation District of China. *Agricultural Water Management* 179:144-157.
- Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., Di Tommaso, T. 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctoris* L. and *Solanum melongena* L.. *Agr. Water Manage.* 92:73-80.
- Loveys, B.R., Dry, P.R., Stoll, M., McCurthy, M.G., 2000. Using plant plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta horticulturae*, 537:187-197.
- Lyle, W.M. and Bordovsky, J.P. 1995. LEPA corn irrigation with limited water supplies. *Transactions of the ASAE*, 38(2):455-462.
- Maiti, R.K., Kousik, S.K., González Rodríguez, H., Rajkumar, D., Vidyasagar, P., 2010. Salt tolerance of twelve maize hybrids at the seedling stage. *Acta Agronomica Hungarica*, 58:21-29.
- Masoud, R. and Manouchehr, K. 2015. Economic water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) hybrids as affected by irrigation regimes: a case study in West Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(6):781-789.

- Monteith, J.L. 1993. The exchange of water and carbon by crops in a Mediterranean climate. *Irrigation Science*, 14:85-91.
- Montgomery, D.C. 2012. *Design and analysis of experiments* (8th ed.). New York, NY: Wiley.
- Nagy, J. 2003. *Effect of Irrigation on Maize Yield (Zea mays L.)*. Debreceni Egyetem. Agrartudományi Közlemények.
- Novalyx Corporation, 2007. Model 255-200 Evaporation Pan. Instruction Manual, pp. 1-4.
- Oguntunde, P.G., Olukunle, O.J., Fasinmirin, J.T. and Abiolu, O.A. 2012. Performance of the SunScan canopy analysis system in estimating leaf area index of maize. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(3):1-7.
- Oktem, A. 2008. Effects of deficit irrigation on some yield characteristics of sweet corn. *Bangladesh J. Bot.*, 37(2):127-131.
- Olson, R.A. and Sander, D.H. 1988. *Corn Production*. In *Corn and Corn Improvement*. Edited by Sprague G.F. and J.W. Dudley. American Society of Agronomy and Academic Press. Madison, Wisconsin, USA.
- Olson, T.C. 1971. Yield and water use by different populations of dryland corn, grain sorghum, and forage sorghum in the western corn belt. *Agronomy Journal*, 63:104-106.
- Onyago, C.O. 2009. Decreased row spacing as an option for increasing maize (*Zea mays* L.) yield in Trans Nzoia district, Kenya. *Plant Breed & Crop Sci.*, 1(8):281-283.
- Opsi, F., Forina, R., Borreani, G., Tabacco, E. and López, S. 2013. Influence of cultivar, sowing date and maturity at harvest on yield, digestibility, rumen fermentation kinetics and estimated feeding value of maize silage. *Journal of Agricultural Science*, 151:740-753.
- Pages, L., Vercambre, G., Drouet, J., Lecompte F., Collet, C. and Le Bot, J. 2004. Root Typ: a generic model to depict and analyze the root system architecture. *Plant and Soil*, 258:103-119.
- Payero, J.O., Melvin, S.R., Irmak, S., Tarkalson, D. 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. *Agr. Water Manage.* 84:101-112.
- Payero, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S., Davison, D., Petersen, J.L. 2009. Effect of timing of a deficit irrigation- allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. *Agr. Water Management* 96:1387-1397.

- Phene, C.J. and Beale, W.O. 1979. Influence of twin-row spacing and nitrogen rates on high-frequency trickle-irrigated sweet corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43(6):1216-1221.
- Phene, C.J., Hutmacher, B.R., Davis, R.K. and McCormick, L.R. 1990. Water-fertilizer management of processing tomatoes. *Acta Horticulturae*, 277:137-143.
- Plaut, R., Garimi, A. and Grava, A. 1988. Cotton growth and production under drip irrigation restricted soil wetting. *Irrigation Science*, 9:143-156.
- Potter, E., Wood, J. and Nichol, C. 1996. User manual for the SunScan canopy analysis system type SS1 (version 1.05). Cambridge, United Kingdom: Delta-T Devices Ltd.
- Prăvălie, R., Patriche, C.V., Sîrodoev, I., Bandoc, G., Dumitraşcu, M. and Peptenatu, D. 2016. Water deficit and corn productivity during the post-socialist period. Case study: Southern Oltenia drylands, Romania. *Arid Land Research and Management*, 30(3):239-257.
- Pulupul, L.U., Behboudian, M.H., Fisher, K.J. 1996. Growth, yield and post-harvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. *Hort. Sci.* 31:926-929.
- Quintana, J.M. and Diaz, J.L. 1971. Importance of the Irrigation of corn (*Zea mays* L.) during the maximum rate of transpiration period. 16th Annual New Mexico Water Conference - Water, a key to a quality environment. 25-26 March.
- Raes, D., Geerts, S., Vandersypen, K. 2008. More food, less water. In: Raymaekers, B. (Ed.) *Lectures for the XXIst century*. Leuven University Press, Leuven, pp. 81-101.
- Ramadoss, M., Birch, C.J., Carberry, P.S. and Robertson, M. 2004. Water and high temperature stress effects on maize production. *Crop Sci.*, 45:45-49.
- Rudnick, D., Irmak, S., Ferguson, R., Shaver, T., Djaman, K., Slater, G., Bereuter, A., Ward, N., Francis, D., Schmer, M., Wienhold, B., Donk, S.V. 2016. Economic return versus crop water productivity of maize for various nitrogen rates under full irrigation, limited irrigation, and rainfed settings in south central Nebraska. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(6):04016017.
- Saeed, H., Grove, I.J., Kettlewell, P.S., Hall, N.W. 2008. Potential of partial rootzone drying as an alternative irrigation technique for potatoes. *Ann Appl. Biol.* 152:71-80.

- Saeed, I.A.M. and El-Nadi, A.H. 1998. Forage sorghum yield and water use efficiency under variable irrigation. *Irrigation Science*, 18(2):67-71.
- Sakellariou-Makrantonaki, M., Papalexis, D., Nakos, N., Kalavrouziotis, I.K. 2007. Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in Central Greece. *Agricultural Water Management*, 90:181-189.
- Samuelsson, R., Burvall, J. and Jirjis, R. 2006. Comparison of different methods for the determination of moisture content in biomass. *Biomass and Bioenergy*, 30(11):929-934.
- Savic, S., Stikic, R., Vucelic-Radovic, B., Bogičević, B., Jovanovic, Z., Šucalović, V. 2008. Comparative effects of regulated deficit irrigation (RDI) and partial rootzone drying (PRD) on growth and cell wall peroxidase activity in tomato fruits. *Agr Water Management* 117:15-20.
- Schreiner, R.P., Tarara, J.M. and Smithyman, R.P. 2007. Deficit irrigation promotes arbuscular colonization of fine roots by mycorrhizal fungi in grapevines (*Vitis vinifera* L.) in an arid climate. *Mycorrhiza*. 17:551-562.
- Sexton, B.T., Moncrief, J.F., Rosen, C.J., Gupta, S.C. and Cheng, H.H. 1996. Optimizing nitrogen and irrigation inputs for corn based on nitrate leaching and yield on a coarse-textured soil. *J. Environ. Qual.*, 25:982-992.
- Shaw, R. 1988. Climate Requirement. In *Corn and Corn Improvement*. Edited by Sprague G.F. and J.W. Dudley. American Society of Agronomy and Academic Press. Madison, Wisconsin, USA.
- Sincik, M., Candogan, B.N., Demirtas, C., Buyukcangaz, H., Yazgan, S., Goksoy, A.T. 2008. Deficit Irrigation of Soya Bean [*Glycine max* (L.) Merr.] in a Sub-humid Climate. *J. Agron. Crop Sci.* 194:200-205.
- Smajstrla, A.G., Zazueta, F.S., Clark, G.A., Pitts, D.J. 2000. Irrigation Scheduling with Evaporation Pans. *Ext. Bul.*, 254:1-10. University of Florida Extension, Institute of Food and Agricultural Sciences.
- Steckel, L.E., Simmons, W.F., Sprague, C.L. 2003. Soil factor effects on tolerance of two corn (*Zea mays*) hybrids to isoxaflutole plus flufenacet. *Weed Technology*, 17(3):599-604.
- Stewart, B.A., Musick, J.T. and Dusek, D.A. 1983. Yield and water use efficiency of grain sorghum in a limited irrigation-dryland farming system. *Agronomy Journal*, 75(4):629-634.

- Stewart, J.I., Cuenca, R.H., Pruitt, W.O., Hagan, R.M., Tosso, J. 1977. Determination and Utilization of water production functions for principal California crops. W-67 Calif. Contrib. Proj. Rep. University of California, Davis.
- Sun, R., McMechan, G. A., Lee, C., Chow, J. and Chen, C. 2006, Prestack scalar reverse-time depth migration of 3D elastic seismic data. *Geophysics*, 71(5):199-207.
- Sutton, B.G., Stirzaker, J.R., Doney, J.C. and English, D.S. 1985. Solar powered drip irrigation for vegetables. In proc. 3<sup>rd</sup> International Drip/Trickle Irrigation Congress. St. Joseph, Mich.: ASAE, 2:589-593.
- Turgut, I., Duman, A., Bilgili, U. and Acikgoz, E. 2005. Alternate Row Spacing and Plant Density Effects on Forage and Dry Matter Yield of Corn Hybrids (*Zea mays* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191:146-151.
- Unger, P.W. and Wiese, A.F. 1979. Managing irrigated winter wheat residue for water storage and subsequent dryland grain sorghum production. *Soil Science Society of American Journal*, 43(3):582-588.
- Viets, F.G. 1962. Fertilizers and the Efficient Use of Water. *Advances in Agronomy* 14:223-264.
- Webb, N., Nichol, C., Wood, J. and Potter, E. 2008. User manual for the SunScan canopy analysis system type SS1 (version 2). Cambridge, United Kingdom: Delta-T Devices Ltd.
- Wilhelm, W.W., Ruwe, K. and Schlemmer, M.R. 2000. Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. *Crop Science*, 40(4):1179-1183.
- Wood, C.W., Reeves, D.W., Duffield, R.R. and Edmisten, K.L. 1992. Field chlorophyll measurements for evaluation of corn nitrogen status. *Journal of Plant Nutrition* 14:487-500.
- Wuana, R.A., Okieimen, F.E. 2010. Phytoremediation potential of maize (*Zea mays* L.). A review. *Afr. J. Gen. Agri.*, 6(4):275-287.
- Yenesew, M. and Tilahun, K. 2009. Yield and water use efficiency of deficit-irrigated maize in a semi-arid region of Ethiopia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 9(8):1635-1651.

Zegbe-Dominguez, J.A., Mehboudian, M.H., Clothier, B.E. 2006. Responses of "Petopride" processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages. *Irrig. Sci.* 24:203-210.

Zewdie, Y. 2007. Effect of Deficit Irrigation on the Growth and Yield of Maize (*Zea may L.*): a case study in West Gojjam Administrative zone, Amhara National Regional State, Ethiopia. School of Graduate Studies, Mekelle University. Id. No. GS/R044/97.

Zhang, H. 2003. Improving water productivity through deficit irrigation: examples from Syria, the North China Plain and Oregon, USA. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, pp. 301-309.